

High resolution, book format

Deconstruction

Arnold & Son

Constant Force Tourbillon

Ref. 1FCAR.B01A.C112C

by

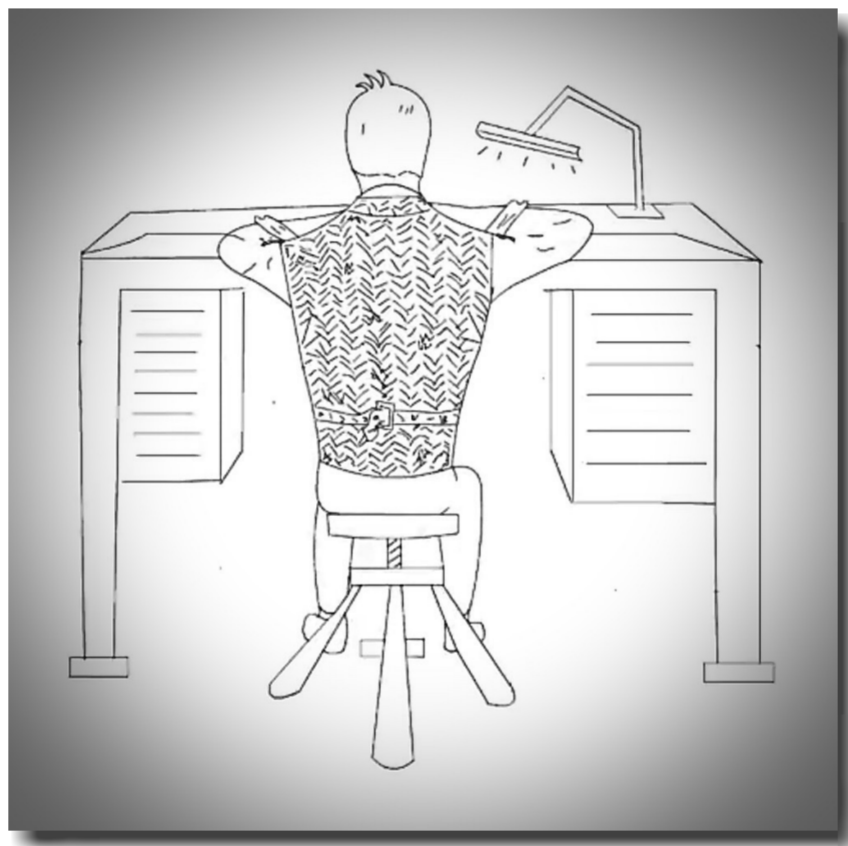
THE NAKED WATCHMAKER

Images from www.thenakedwatchmaker.com

All texts, photographs and illustrations are
Copyright ©2019
The Naked Watchmaker

Edition A&SCFT.1a

Formatted for use on mobile telephones,
laptops and tablets.



All rights to this publication are reserved.

It would be appreciated by the author that no part of
this book may be reproduced, copied or transmitted in
any form or by any means, electronic or mechanical,
including photocopy, xerography and videography
recording, with out the permission of
The Naked Watchmaker.

Arnold & Son Constant Force Tourbillon

Ref. 1FCAR.B01A.C112C



An original and newly patented constant force mechanism driving a 60-second tourbillon with jumping seconds.

The Constant Force Tourbillon is part of Arnold's Royal Collection. In a conventional tourbillon or simple time keeper the accuracy of the watch is partly dependent on the isochronism of the balance as the power reduces and the mainspring unwinds. (*Isochronism meaning; regardless of the amount of power transmitted to the balance and the amplitude of the balance wheel, the period of the oscillation remains the same allowing the movement to run down evenly assuring precision time keeping).

Instead of power from the mainspring being fed directly to the escapement as can normally be found in a traditional tourbillon or simple timepiece, the mainspring charges/winds a small 'balance style' spring which in turn releases a even and consistent amount of power to the escapement/tourbillon, each second. In this way it is the small balance style spring powering the escapement rather than directly from the mainspring.

The device also drives the jumping seconds hand. When the power from the mainspring drops below that which is required by the constant force mechanism, the movement stops rather than running at a lower precision. The constant force device rotates once per minute and optimises the precision through the constant/even power to the escapement. The 60-second tourbillon averages out gravitational errors on the escapement by constantly rotating it through 360°.

Movement AS5119, hand-wound, 39 jewels, diameter 36.8 mm, thickness 6 mm, power reserve 90h, double barrel, 21,600 vibrations/h. Movement decoration: Nickel-silver and steel movement, palladium treated bridges and NAC grey treated main plate. Hand-angled bridges with polished edges and straight grained surfaces, screwed gold chatons, screws with bevelled and mirror-polished head. Tourbillon cage: mirror-polished with hand-angled polished edges and circular satin-finished surfaces.

The project was launched in 2013 and presented at Baselworld for the first time in 2015.



The time the watchmaker spends on the assembly of each watch is approximately sixty hours. This includes pre-assembly, decoration, assembly, adjustment, controls, casing etc. This work is spread over thirteen weeks, eight weeks to build the movement then five weeks for casing, checks and tests. This excludes the time of production of the parts in the kit that the watchmaker receives.



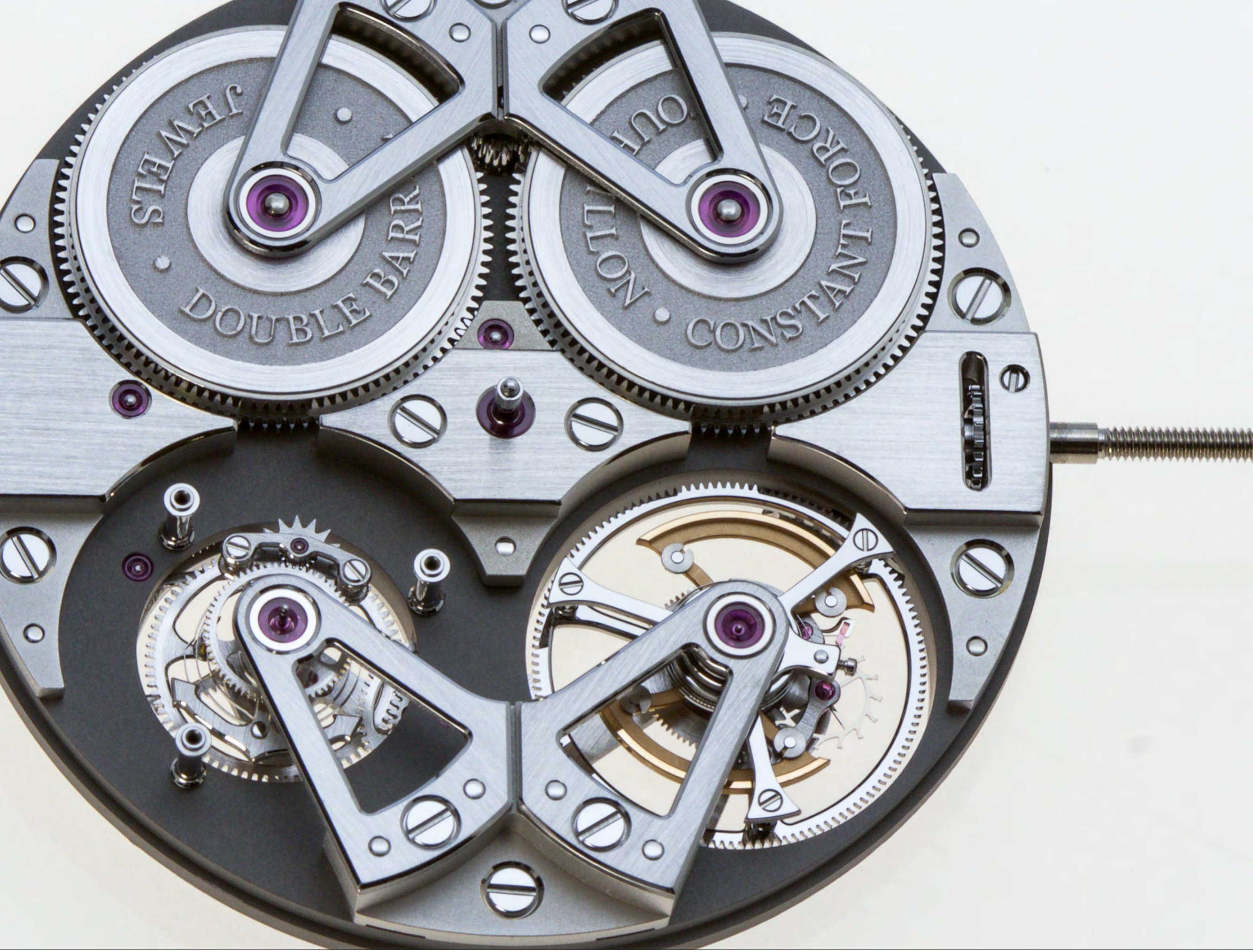
Case

18-carat red gold case, diameter 46 mm, domed sapphire with anti-reflective coating on both sides, see-through sapphire case back. Water resistant to 30 m.

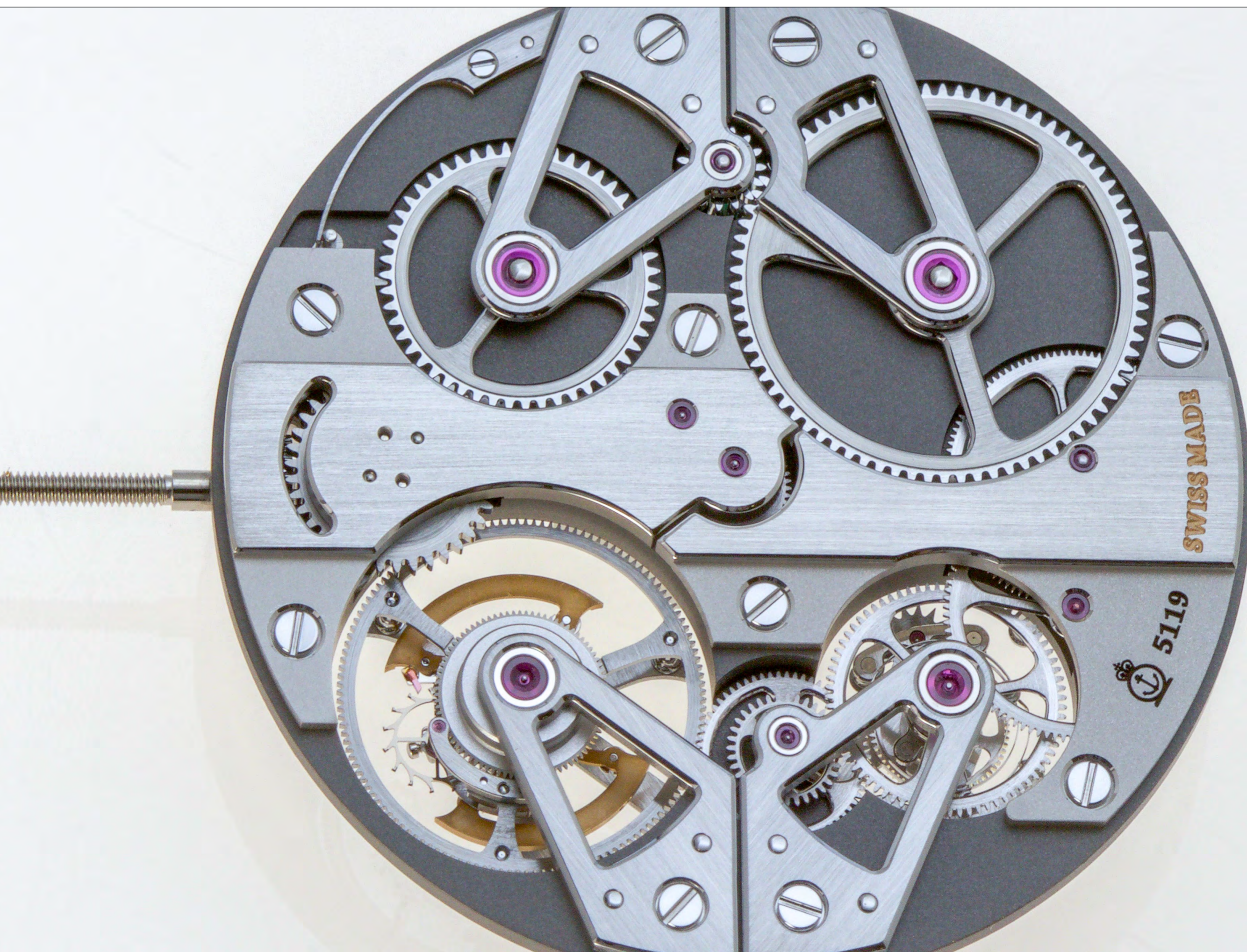


The compression case back removed. The movement is removed from the case by taking off the bezel and removing a movement ring hidden under the bezel and dial which holds the movement in place.





The total number of components in the movement is 255.



The primary ratchet wheel with partially hidden click at 12 o'clock





Anthracite open dial with applied battons. The dial is held in place between the bezel and movement ring.



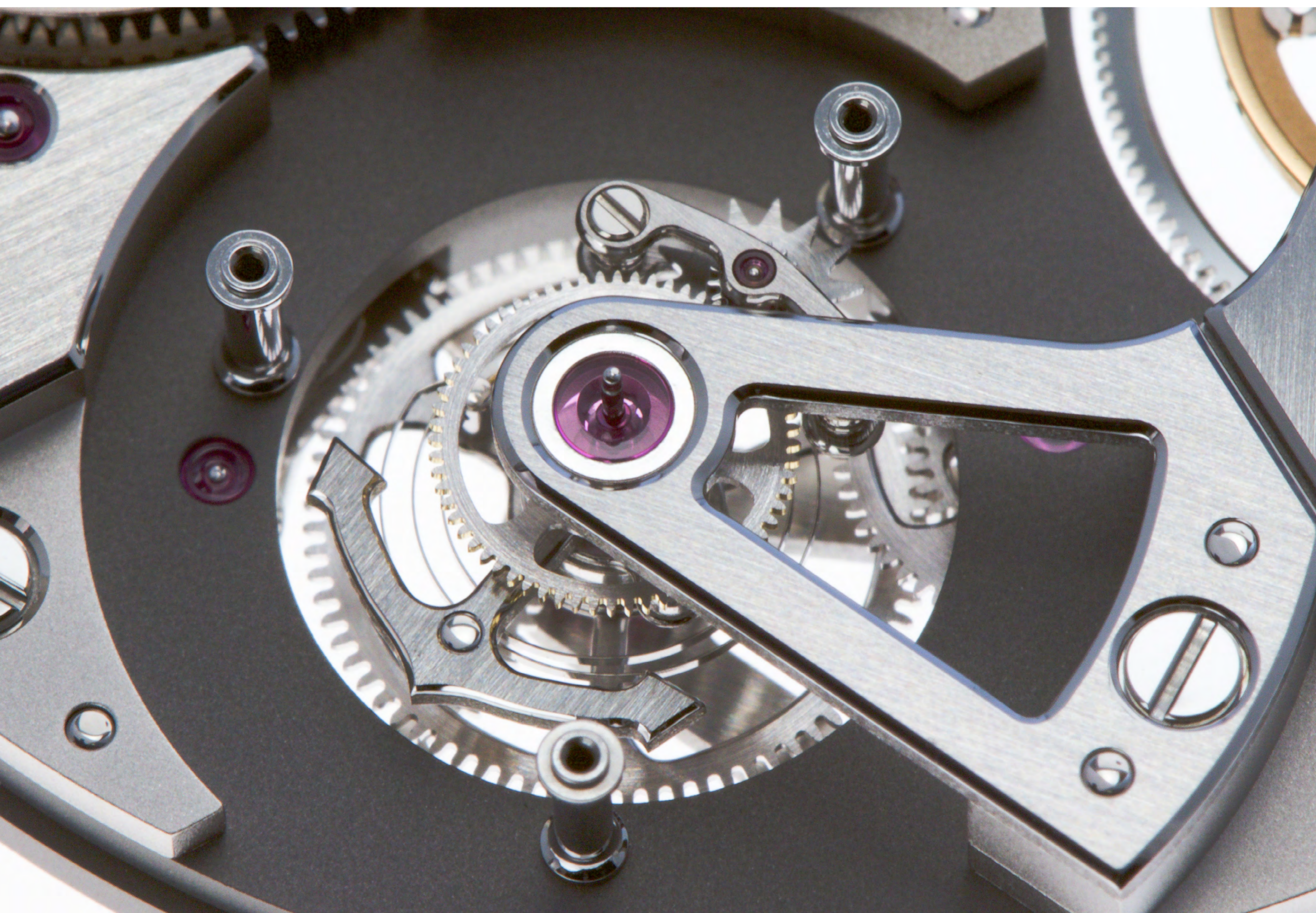
The movement removed from the case and dial.
The 3 hands remaining in place with the seconds
chapter ring still held by its three screws.

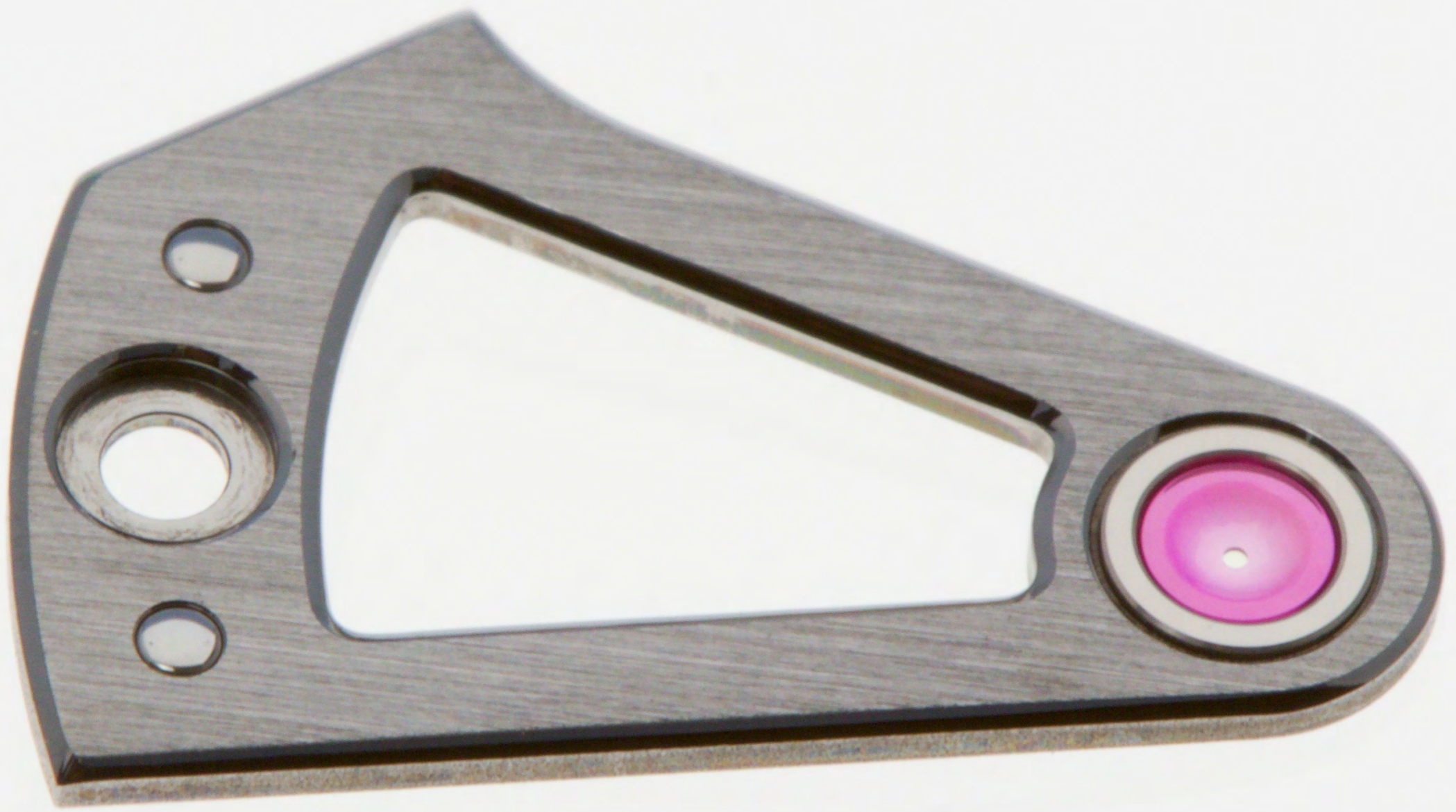


The Tourbillon



The constant force mechanism
(seconds chapter ring removed)

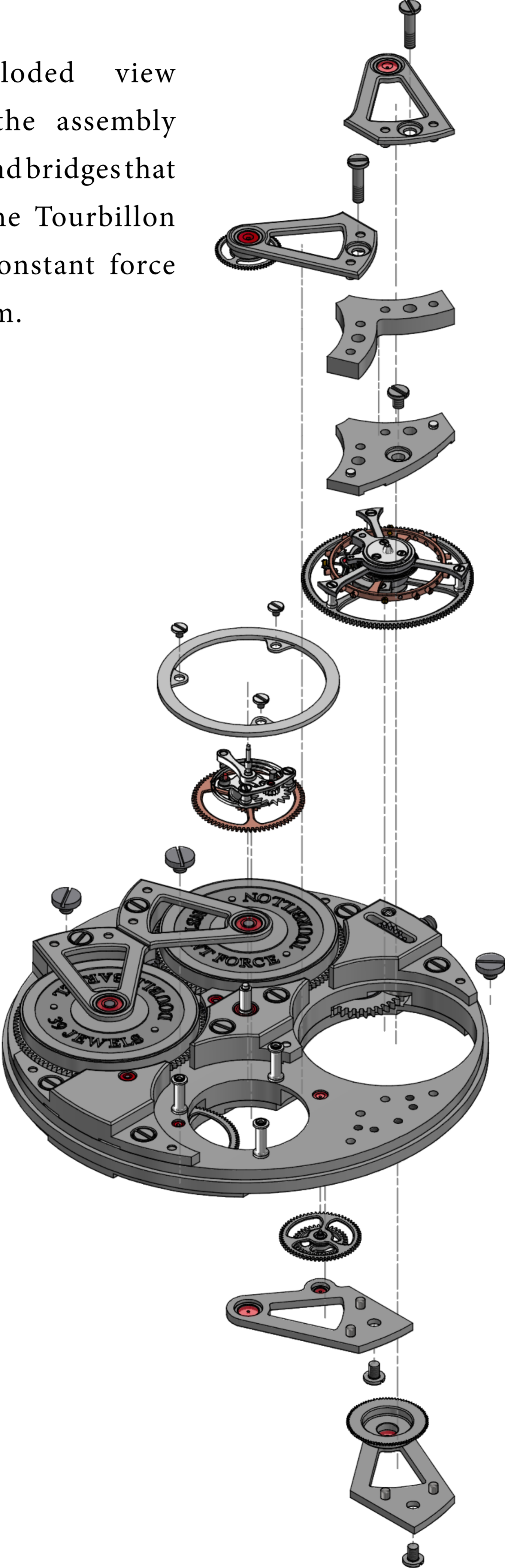




The upper bridge holding the Tourbillon in place removed.



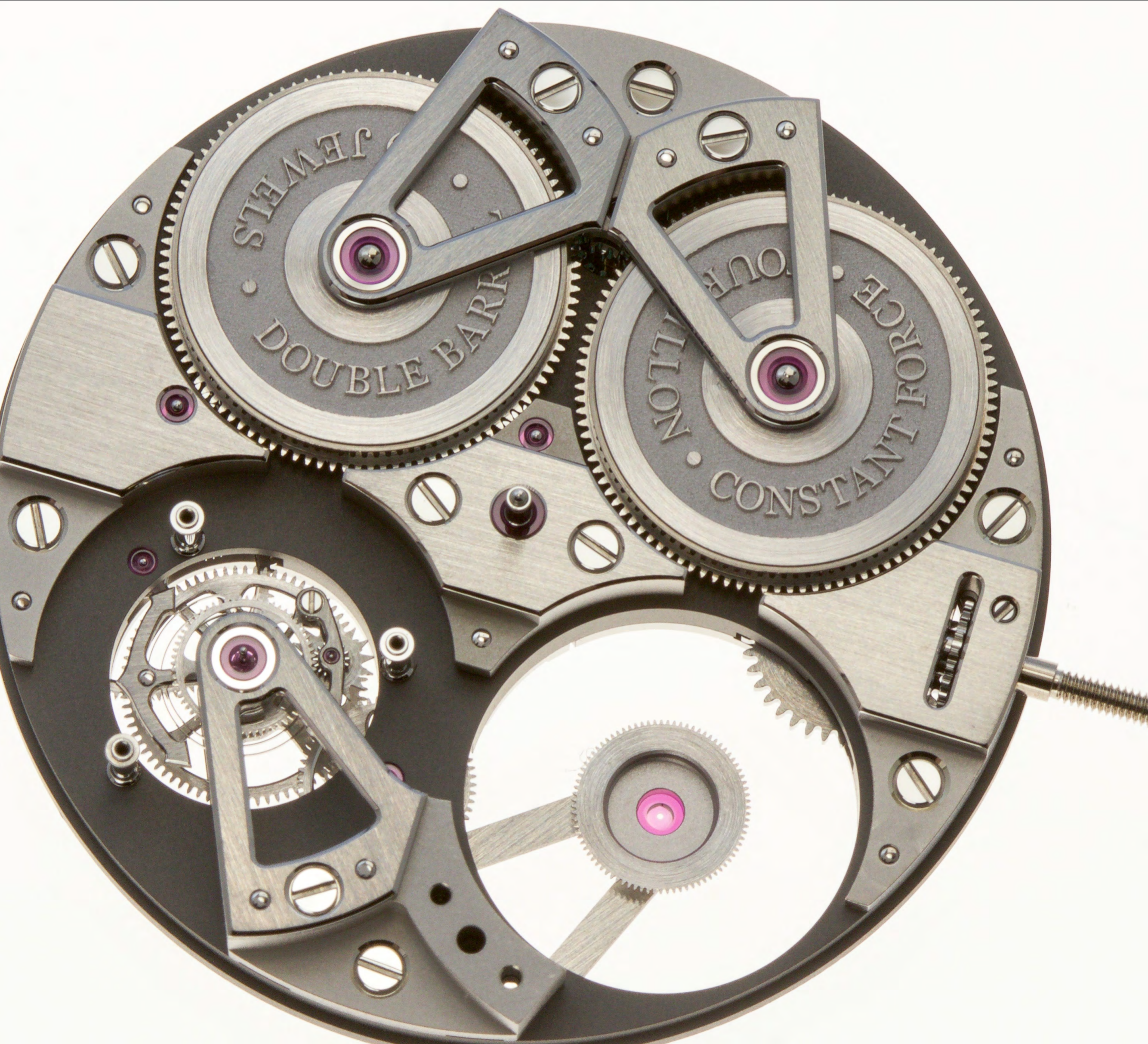
The exploded view showing the assembly position and bridges that support the Tourbillon and the constant force mechanism.



The tourbillon removed.
Traditional right angle Swiss lever
escapement with free-sprung
balance adjusted by maslots.

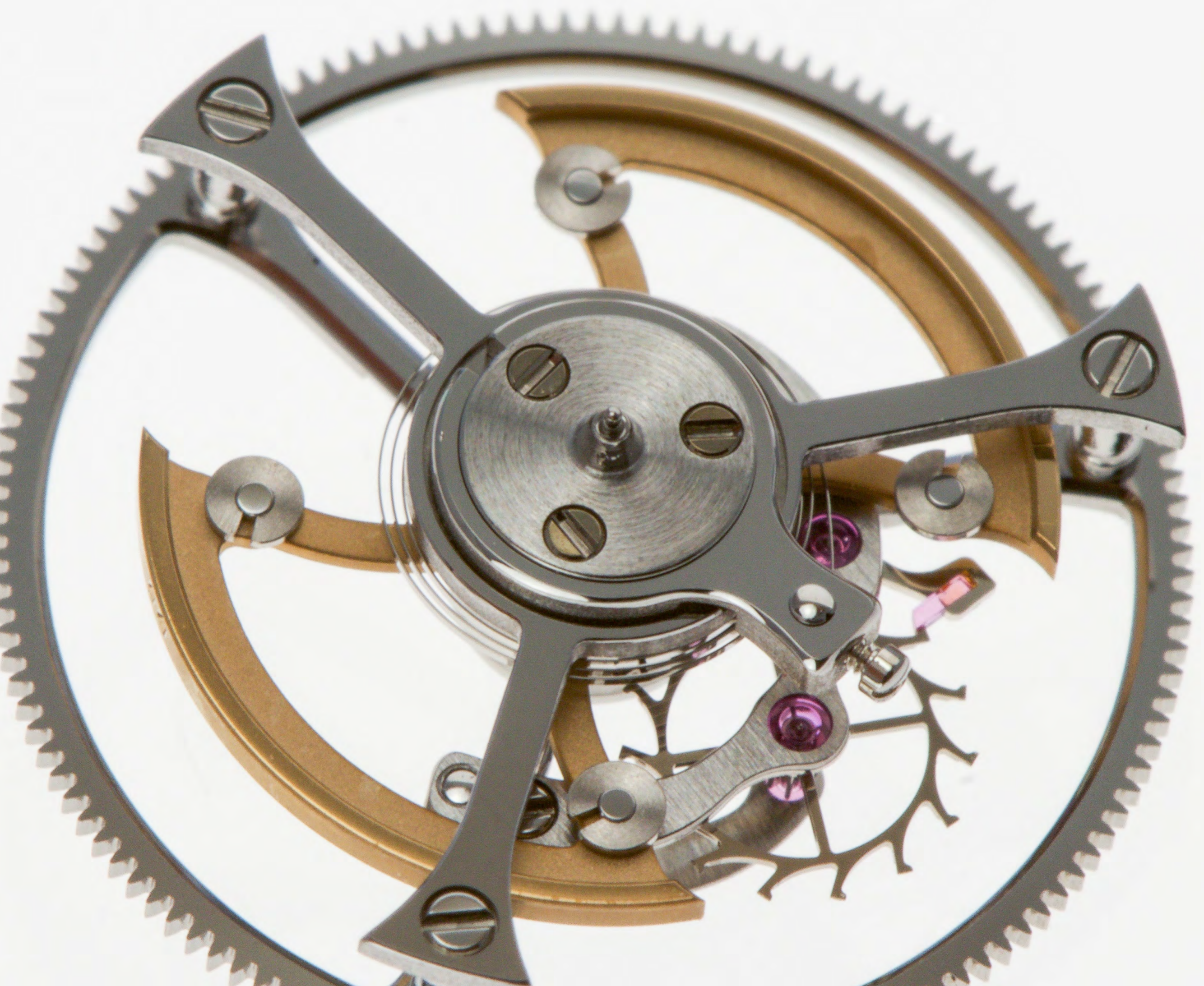


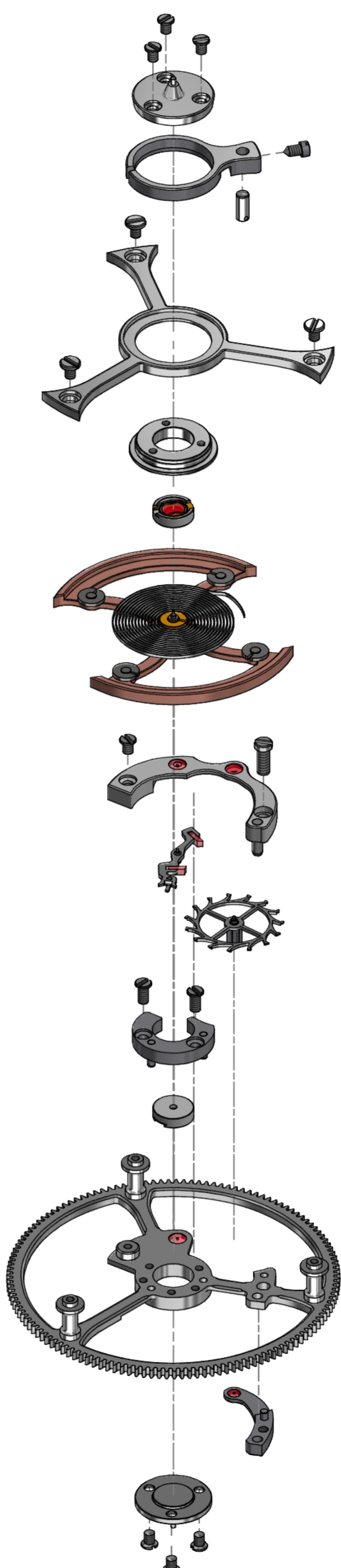
The Tourbillon removed from the movement.



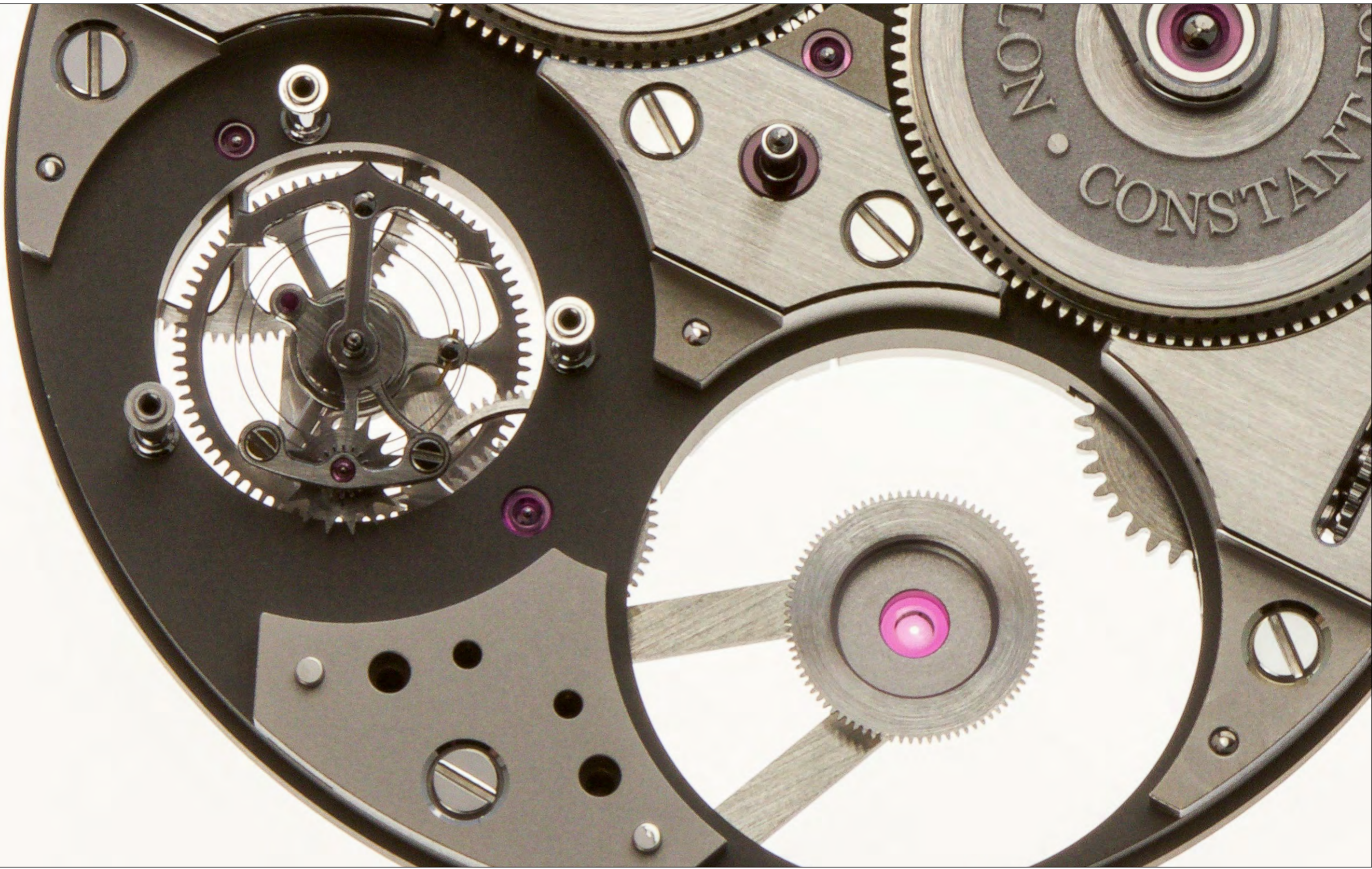


Recto-verso of the Tourbillon cage

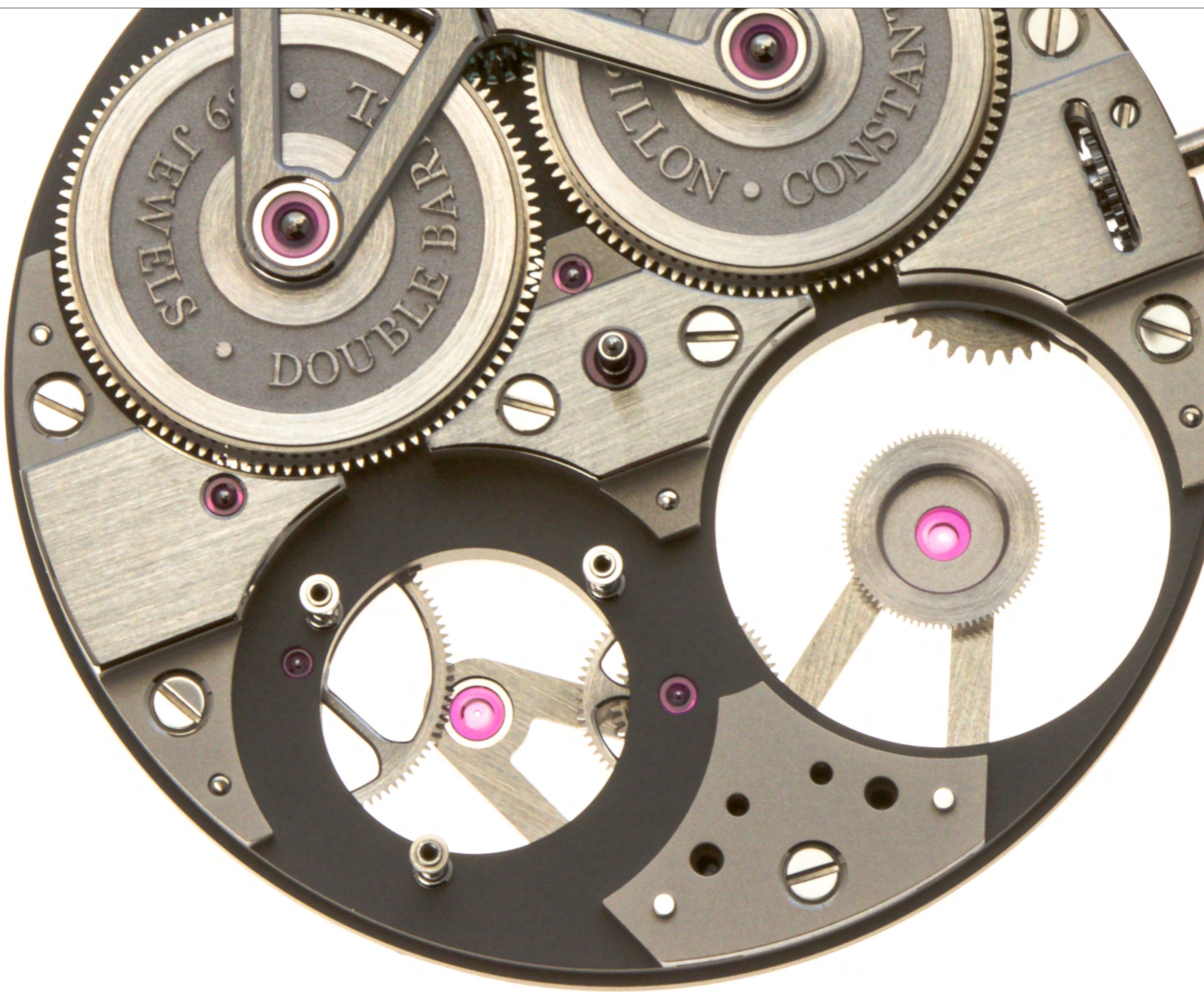


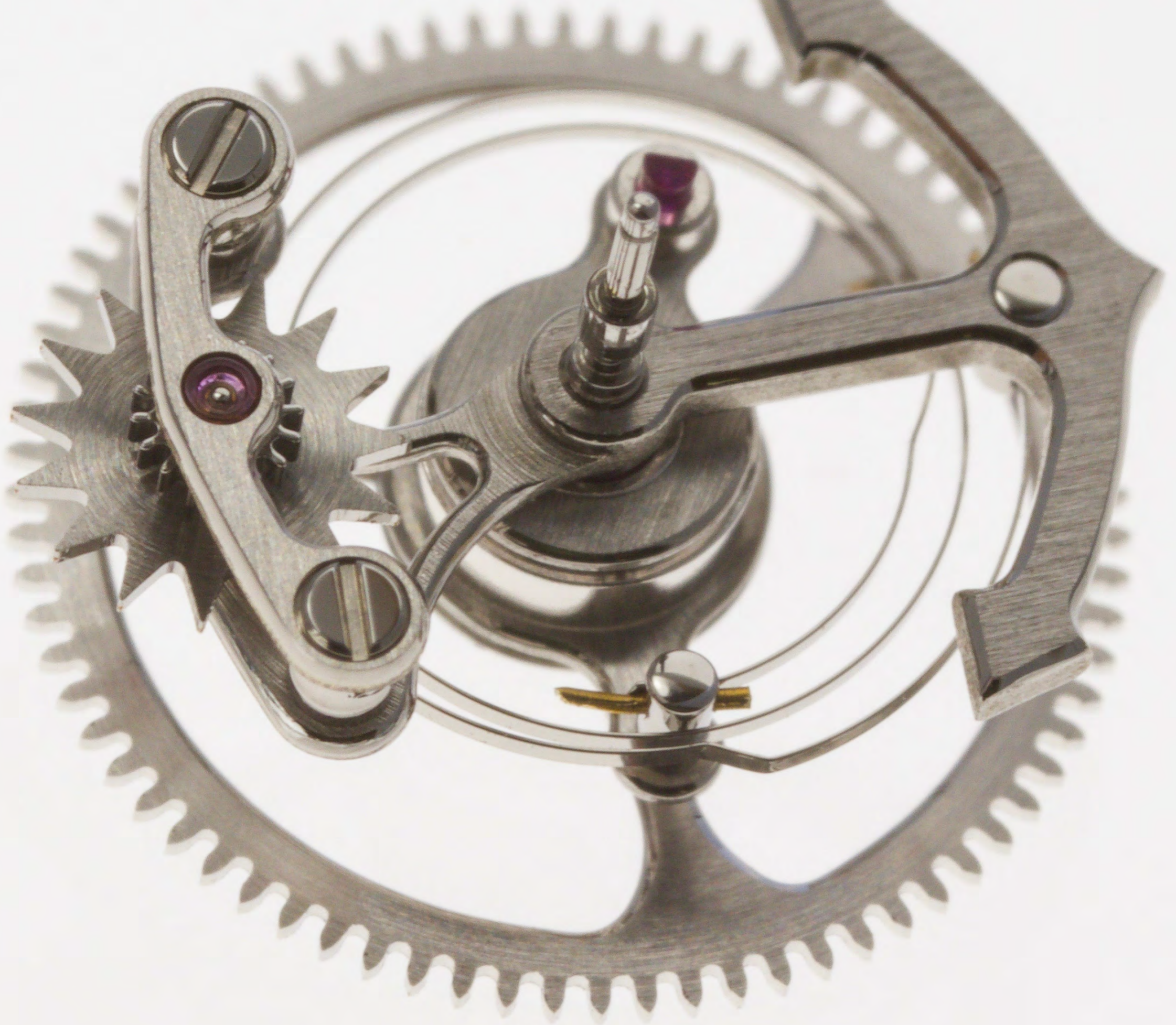


The upper bridge removed from the constant force mechanism assembly.

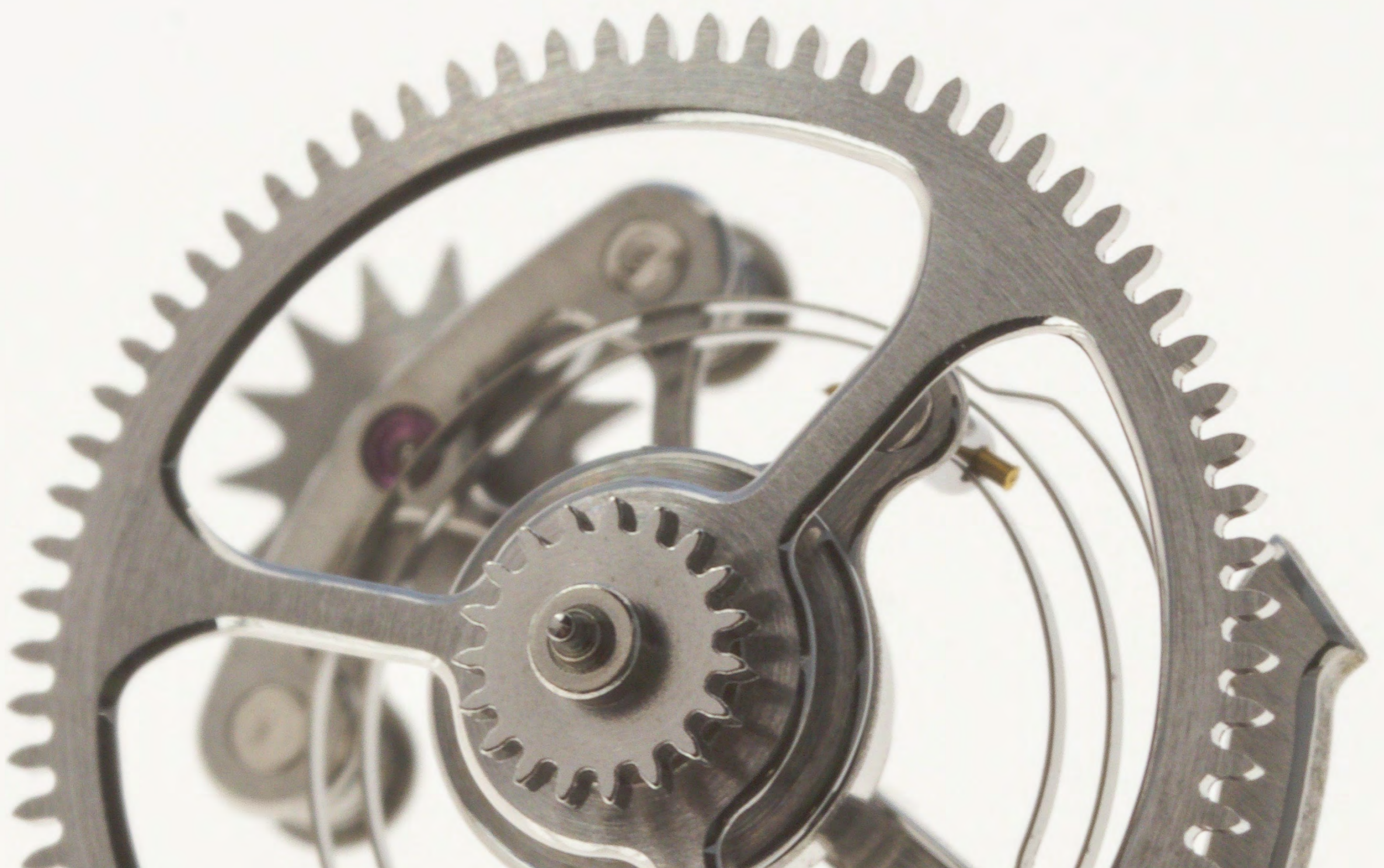


The constant force mechanism removed from the calibre.





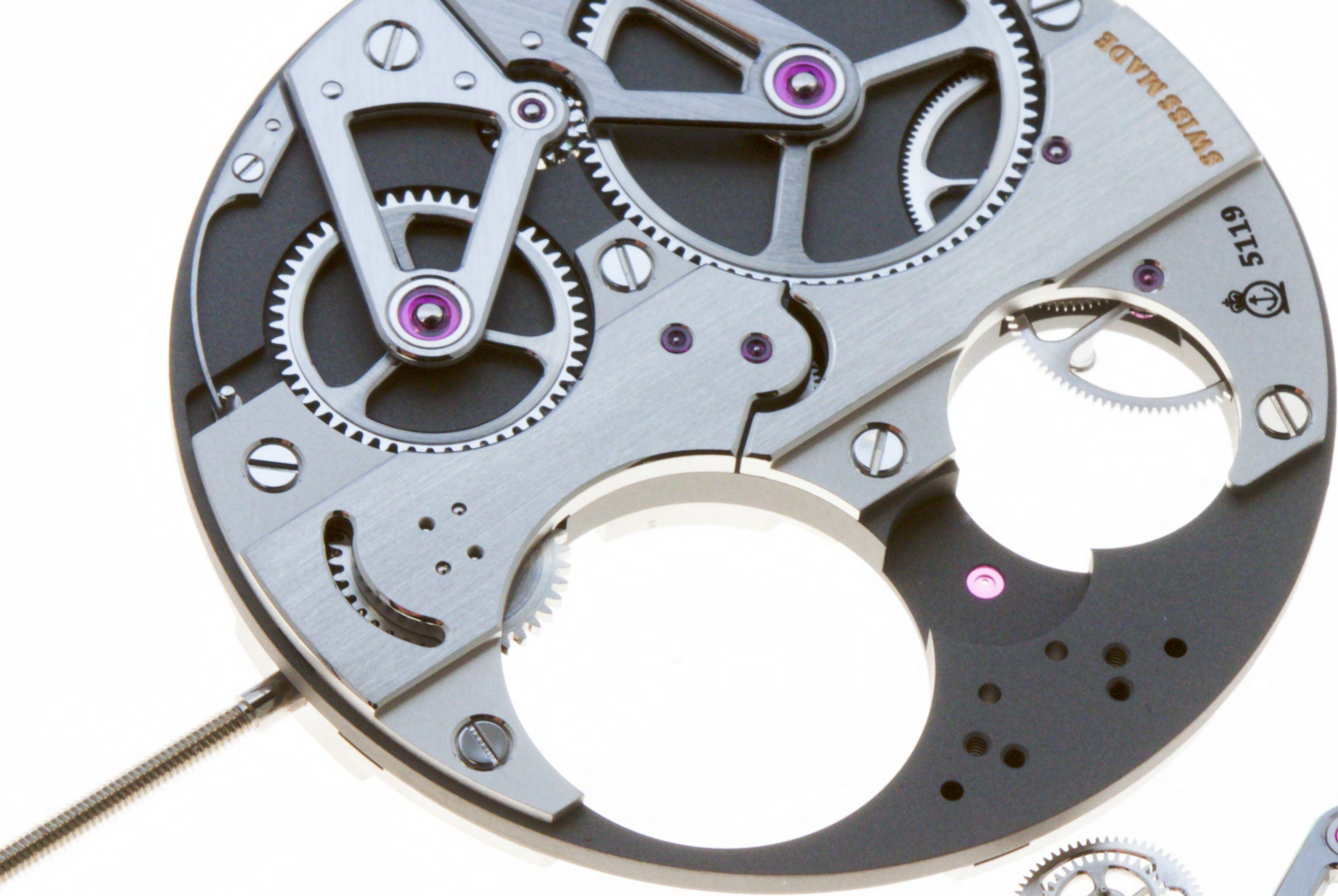
The constant force mechanism (9.2mm in diameter) which is powered by the force from the barrels. Once the spring seen below is partially armed, every second the Tourbillon is impulsed from the energy released from this spring through the assembly, both transmitting energy to the Tourbillon and producing the jumping seconds action on the off centre seconds hand.



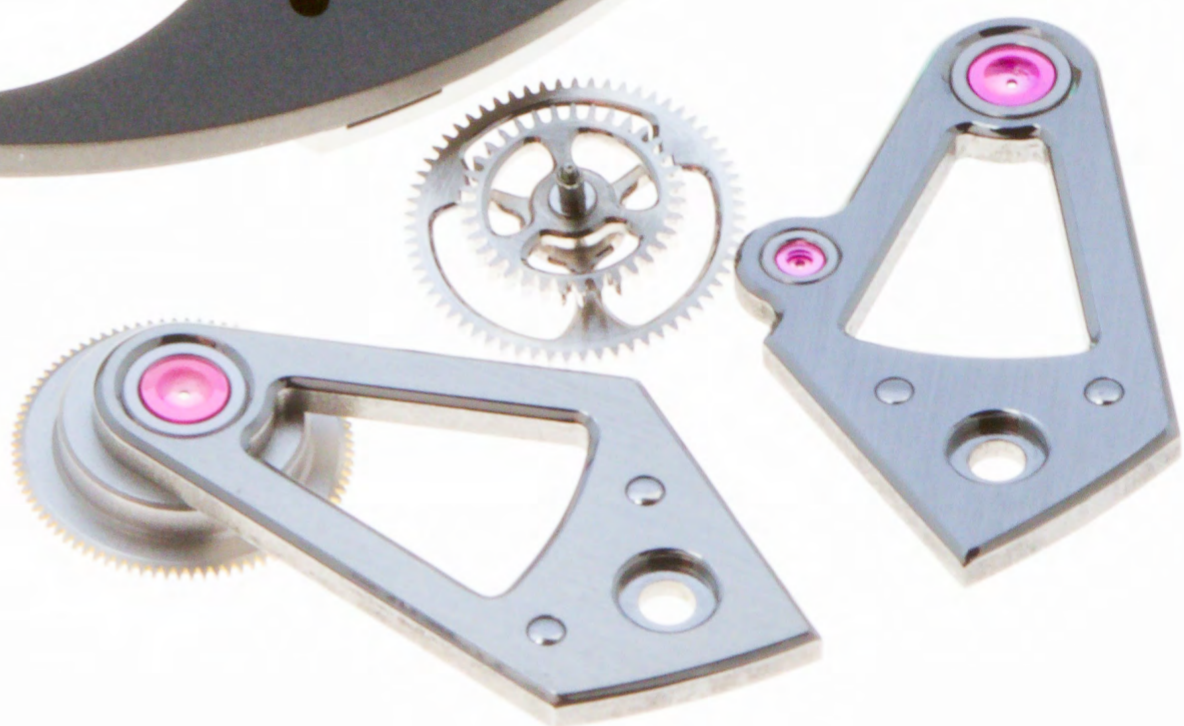


Recto-verso of the bridge and fixed wheel which holds in place the constant force mechanism.





Recto-verso of the bridge and fixed wheel which holds in place the constant force mechanism.



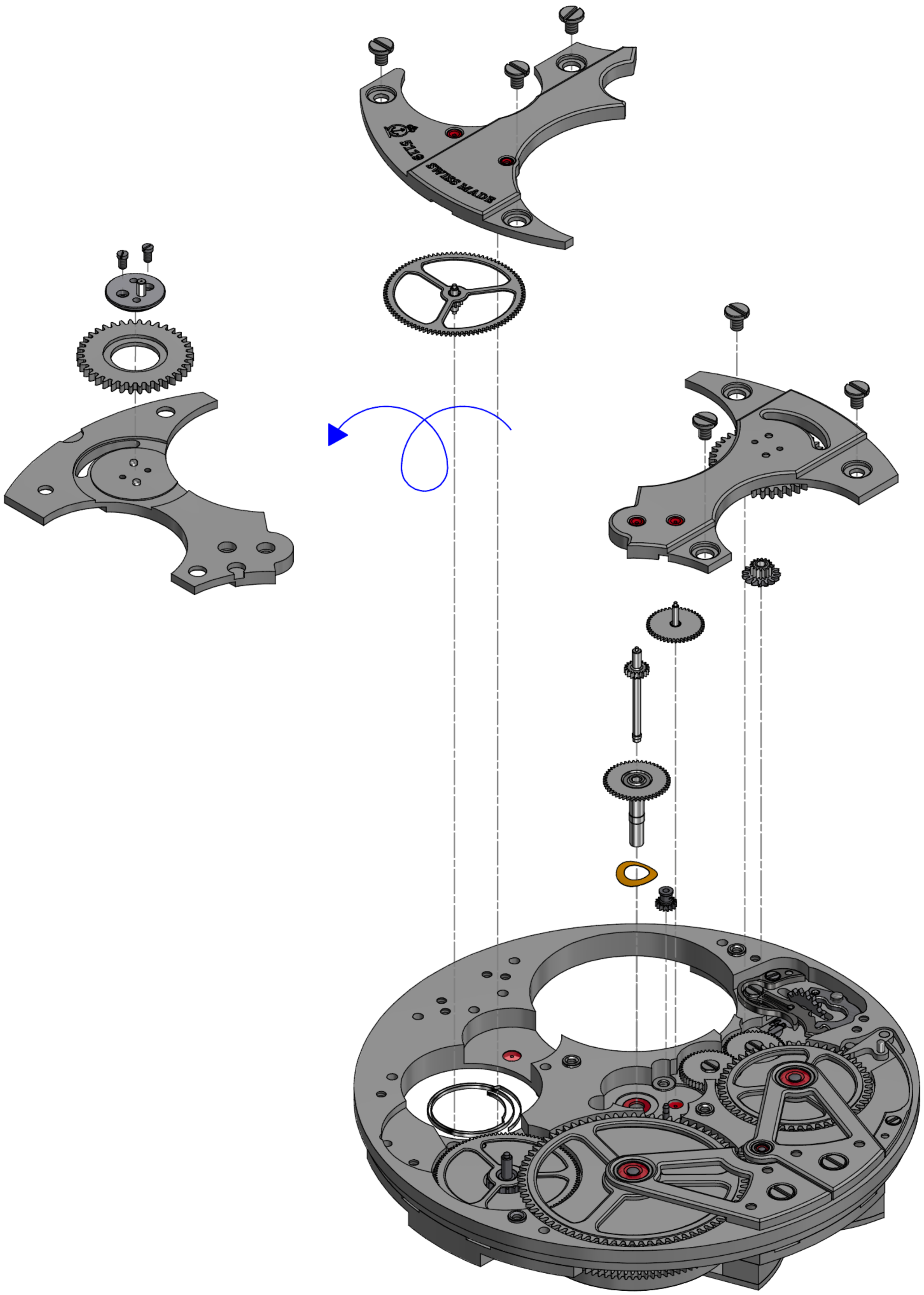
The two train bridges removed showing part of the setting train and the gear train. All of the large bridges and main-plate in the movement are made from German Silver (mallechort) and the smaller in steel.

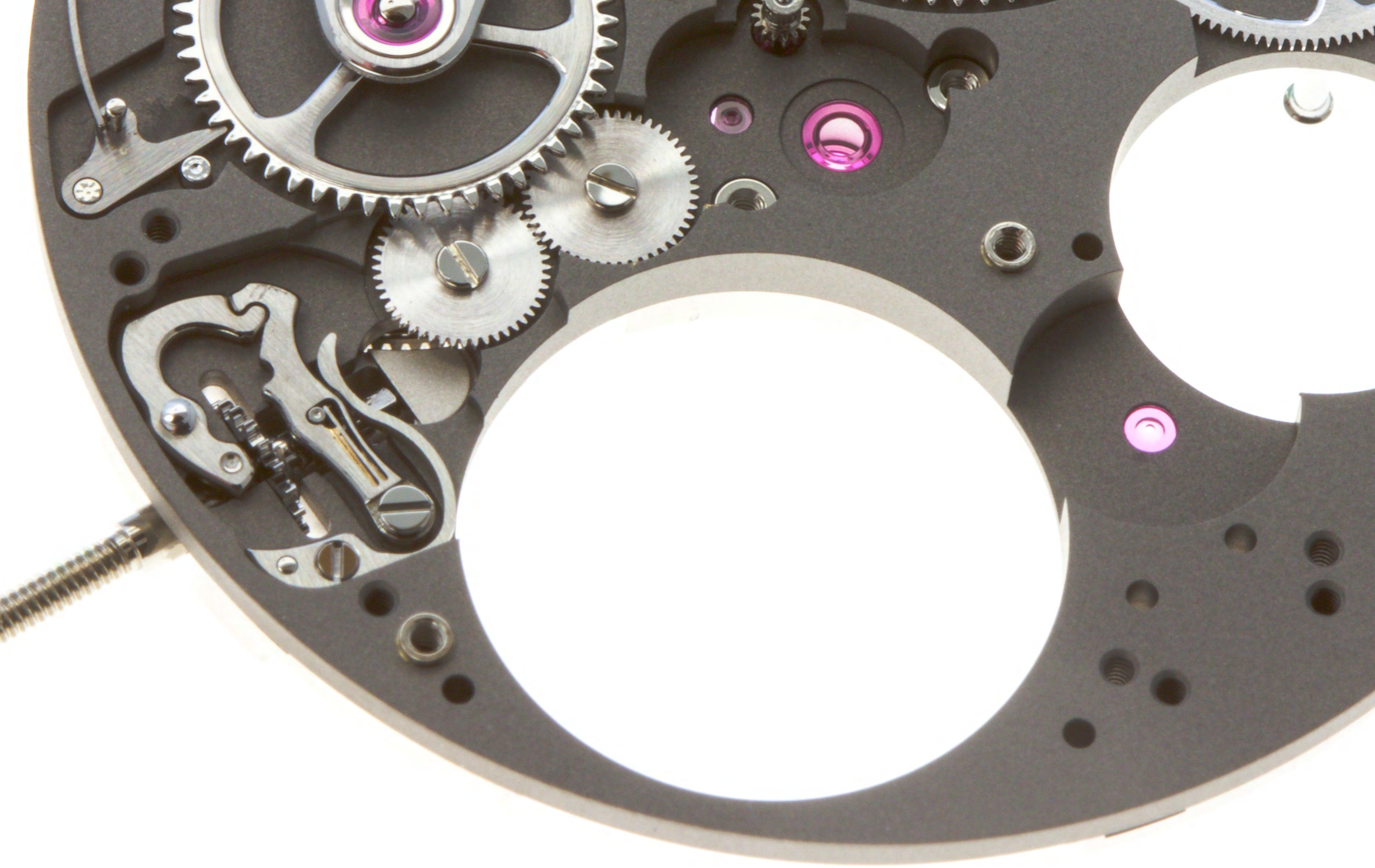




The two train bridges from above. The straight graining and angling of the bridges are executed manually.



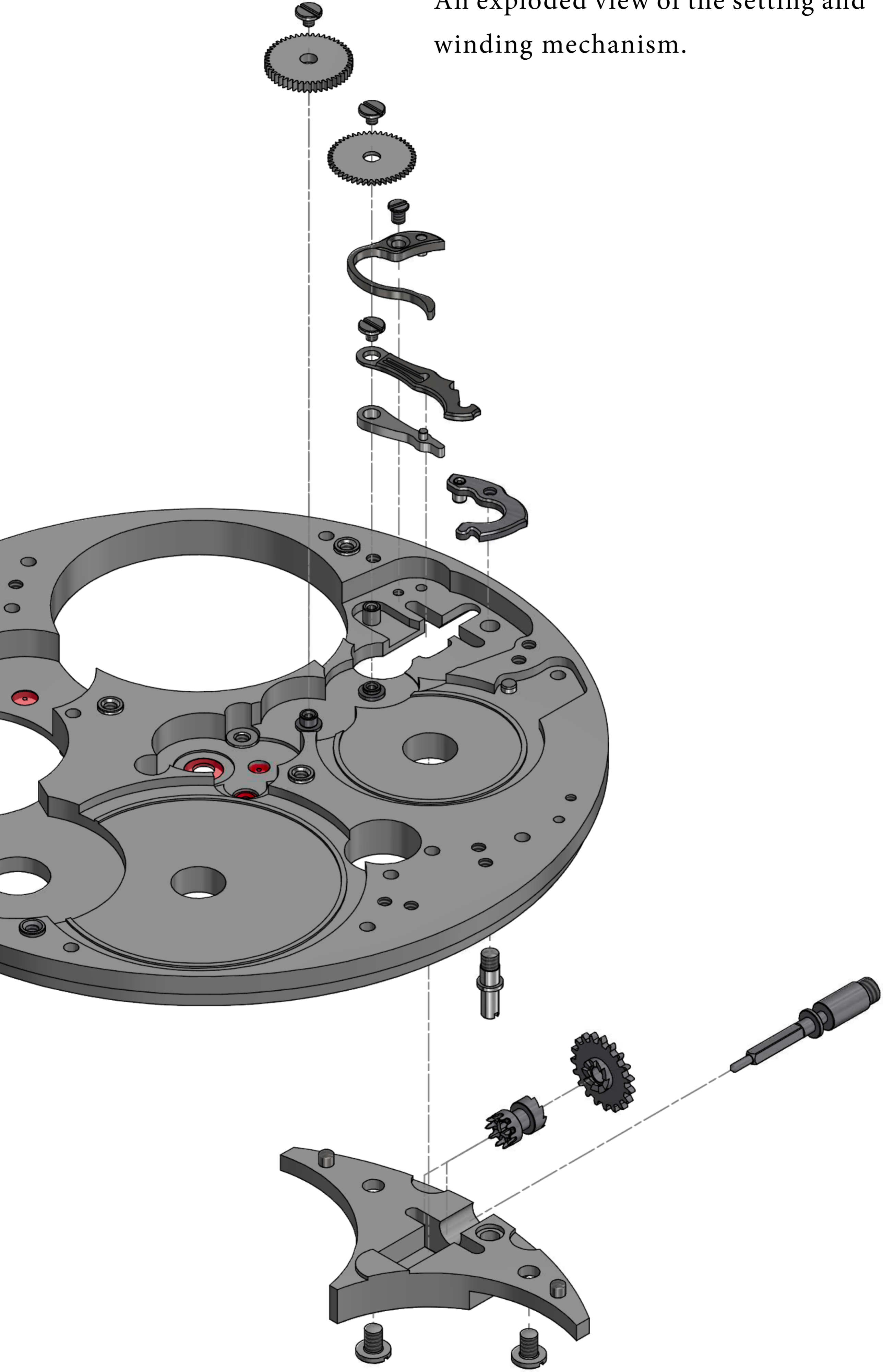




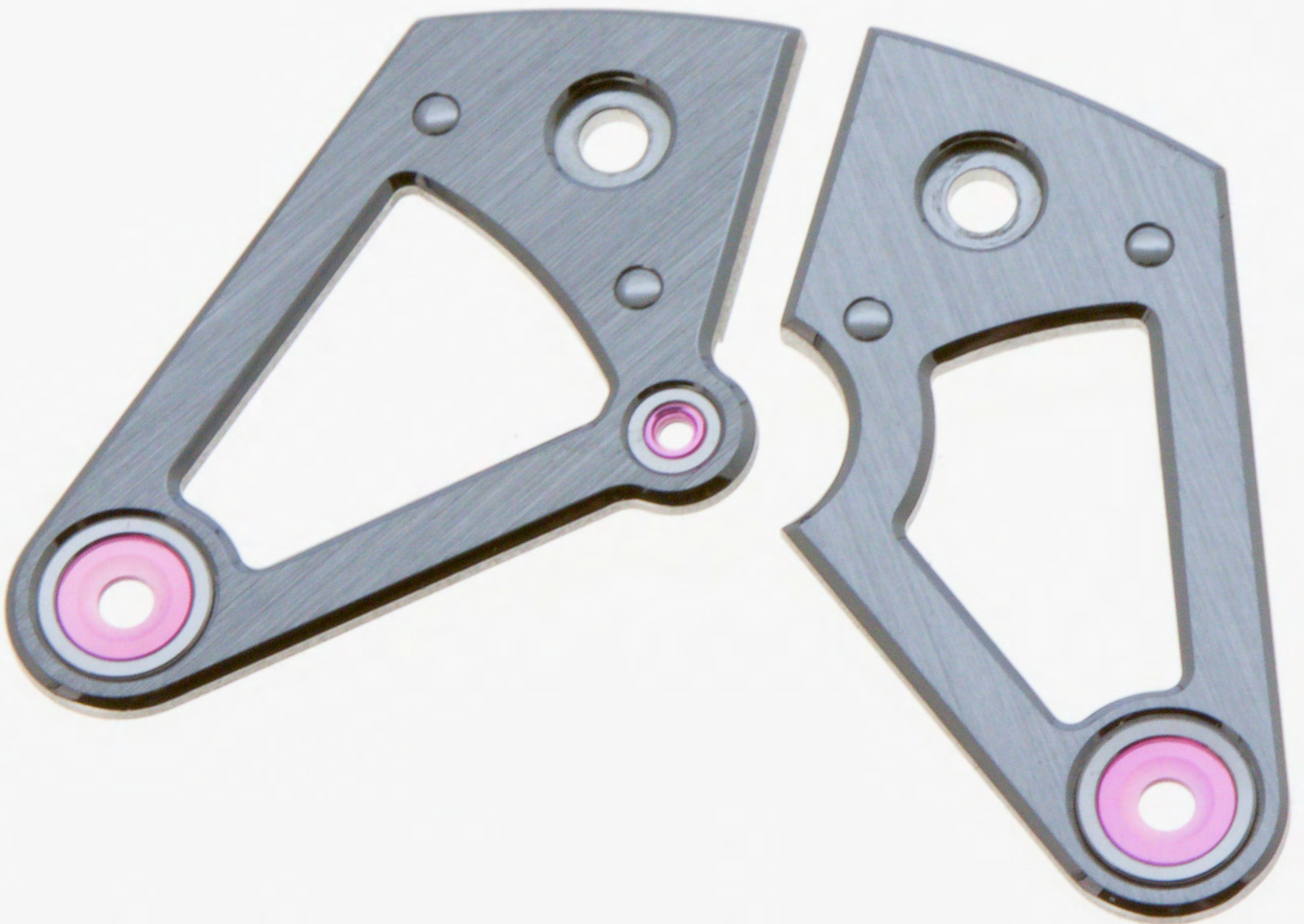
With the bridges removed the full setting mechanism is visible and the click for the ratchet wheel can be seen unobstructed at 9 o'clock. The second barrel is wound by the force of the first, which transmits the power directly from the teeth on the barrel via a pinion (shown between the two large steel wheels) and in turn winds the second mainspring via the larger of the two steel wheels.



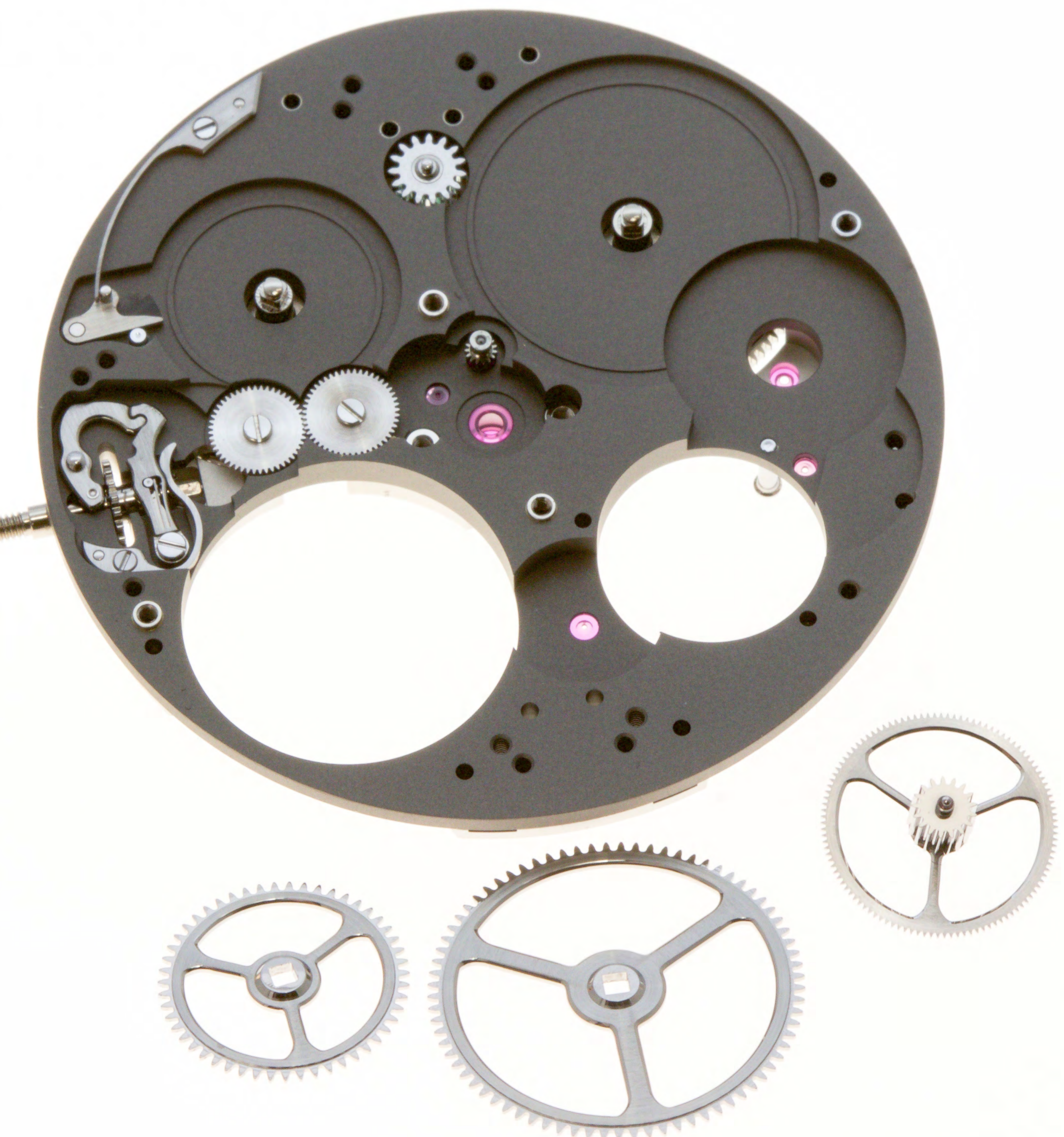
An exploded view of the setting and winding mechanism.



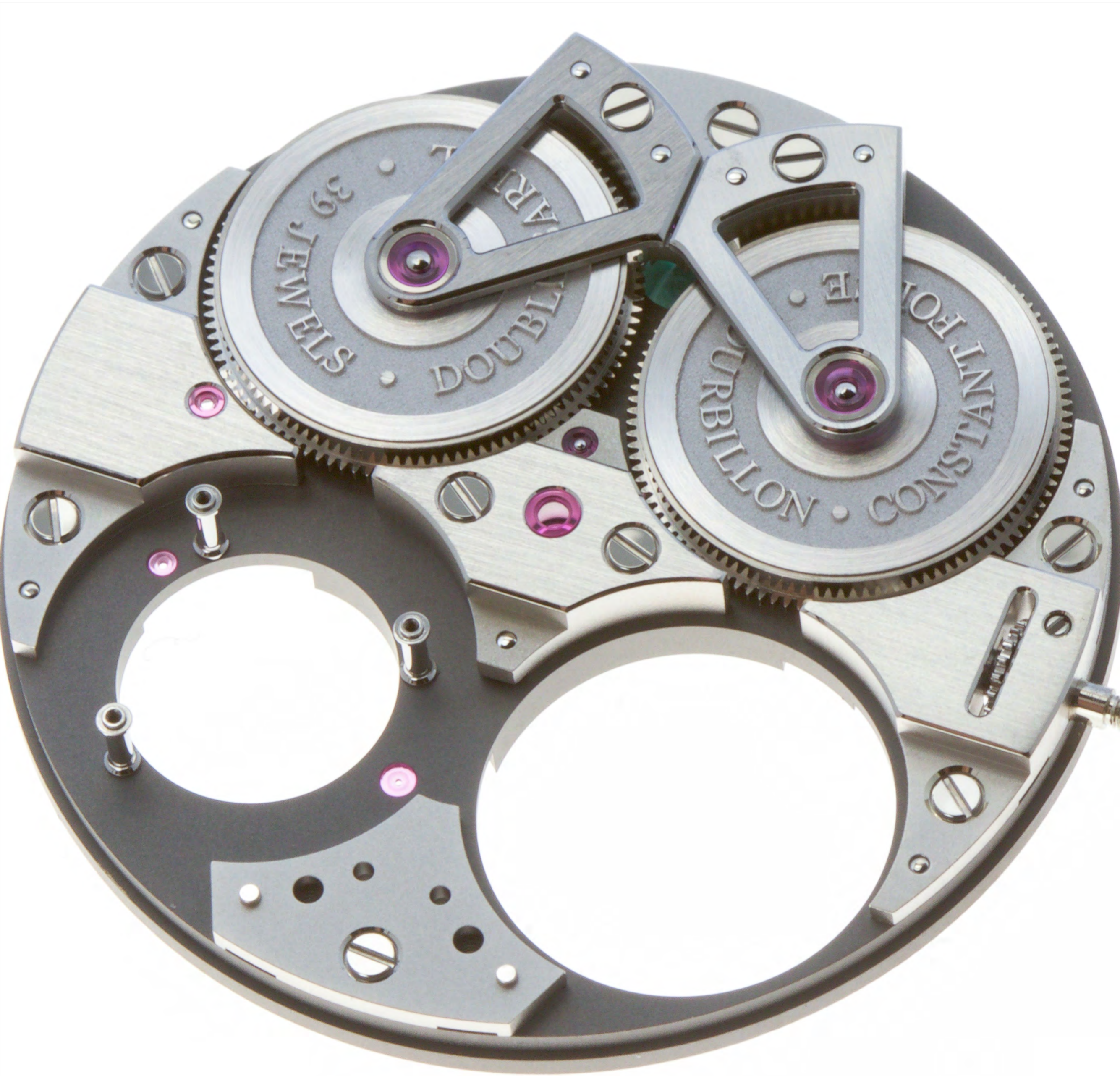
The bridges for the lower pivots of the two barrels.

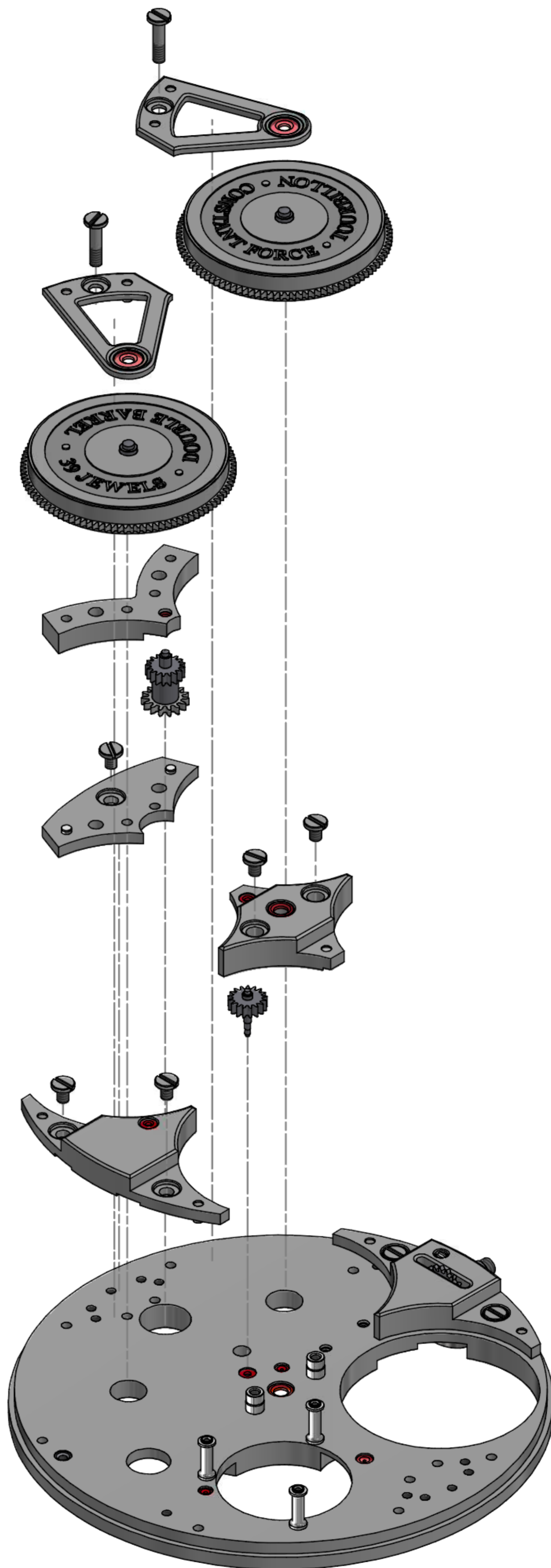


The two ratchet wheels which wind the mainspring/barrel arbours are seen below the main-plate. The ratchet wheels have square holes in their centres which marry to the barrel arbours. At this stage the majority of the calibre is dismantled on this side of the movement. The setting mechanism is usually left in place during servicing.



Dial side of the movement with the two barrels still in place.





The surface of the two barrels are circular grained after the chemical etching of the details shown.



All wheels removed with the remaining bridges in situ.



Summary

The Arnold & Son Constant Force Tourbillon is a further example of how a complex horological concept can be taken and made simple. As mentioned on the previous Arnold & Son deconstruction, making a simple concept complicated is easily done, the opposite is far more challenging. With this calibre both the movements construction and architecture is well thought through, the overall finishing is clean, fine and balanced.





Constant Force Tourbillon

Manuel Nappez, Florent Perrot-Minnot

Manufacture La Joux-Perret SA, La Chaux-de-Fonds, Suisse

Résumé

La montre Arnold & Son Constant Force Tourbillon (Fig. 1) est équipée du calibre 5119 de la Manufacture La Joux-Perret SA. Ce mouvement, équipé de deux barillets est doté d'un dispositif de transmission à force constante, couplé à un tourbillon de 60 secondes, offrant une autonomie de 90 heures. Le but de cette conférence est de détailler les particularités de ce mouvement, qui permettent de réguler la précision des indications, tout en alliant un design en harmonie avec l'essence de la marque Arnold & Son.

Introduction

John Arnold, au XVIII^e siècle, a très largement contribué à la mesure des longitudes et favorisé ainsi le commerce maritime. Fidèle au génie de son illustre prédécesseur, la marque Arnold & Son, exige, dans ses mouvements, une parfaite alliance de l'esthétique et de la technologie. La manufacture La Joux-Perret SA a relevé le défi. Elle intègre, par exemple, un affichage de seconde morte à partir du mécanisme de force constante. Les chronomètres de marine de John Arnold étaient équipés alors, d'un échappement à détente. La particularité de cet échappement permettait d'obtenir une indication sautante des secondes. Ce mouvement particulier de l'aiguille de seconde dans la montre mécanique est devenu l'une des signatures des montres Arnold & Son.

L'évolution de la montre mécanique demande une précision optimisée de la marche. Plusieurs systèmes ont vu le jour, afin de contribuer à la diminution des facteurs qui perturbent la précision de la montre. Ces facteurs sont divers, ils sont dépendants de la construction, des matériaux et des interactions extérieures. Dans le calibre 5119, la Manufacture La Joux-Perret SA combat l'anisochronisme par un système formé de deux barillets couplés et d'un mécanisme de force constante, auquel s'ajoute le tourbillon. Cette solution élégante procure un apport d'énergie à la fois important et régulier, élément essentiel dans la recherche d'une plus grande précision de la marche de la montre.

Le mouvement

La caractéristique de la montre Constant Force Tourbillon est de maintenir une grande stabilité de la marche et une importante autonomie de réserve de marche. Esthétiquement, Arnold & Son



Fig. 1: Montre Constant Force Tourbillon.

souhaitait incarner le style des anciens chronomètres marins anglais avec une touche de modernité, tout en exposant pleinement la technicité de la montre côté cadran.

Double barillet

Pour maximiser l'énergie dans le mouvement, la Manufacture La Joux-Perret SA devait agir au début de la chaîne cinématique, c'est-à-dire à la source de la puissance du mouvement. Au lieu d'utiliser un seul barillet, elle couple deux barillets en sé-

rie, visibles à 10:30 et 1:30 (Fig. 2). Le premier barillet est le seul à alimenter le train d'engrenages. Lorsque son couple tombe en dessous d'un certain pourcentage de celui du second barillet (2),

ce dernier vient compenser le manque de couple du premier barillet (1). Ces deux barillets couplés en série permettent d'obtenir une réserve de marche de 90H.

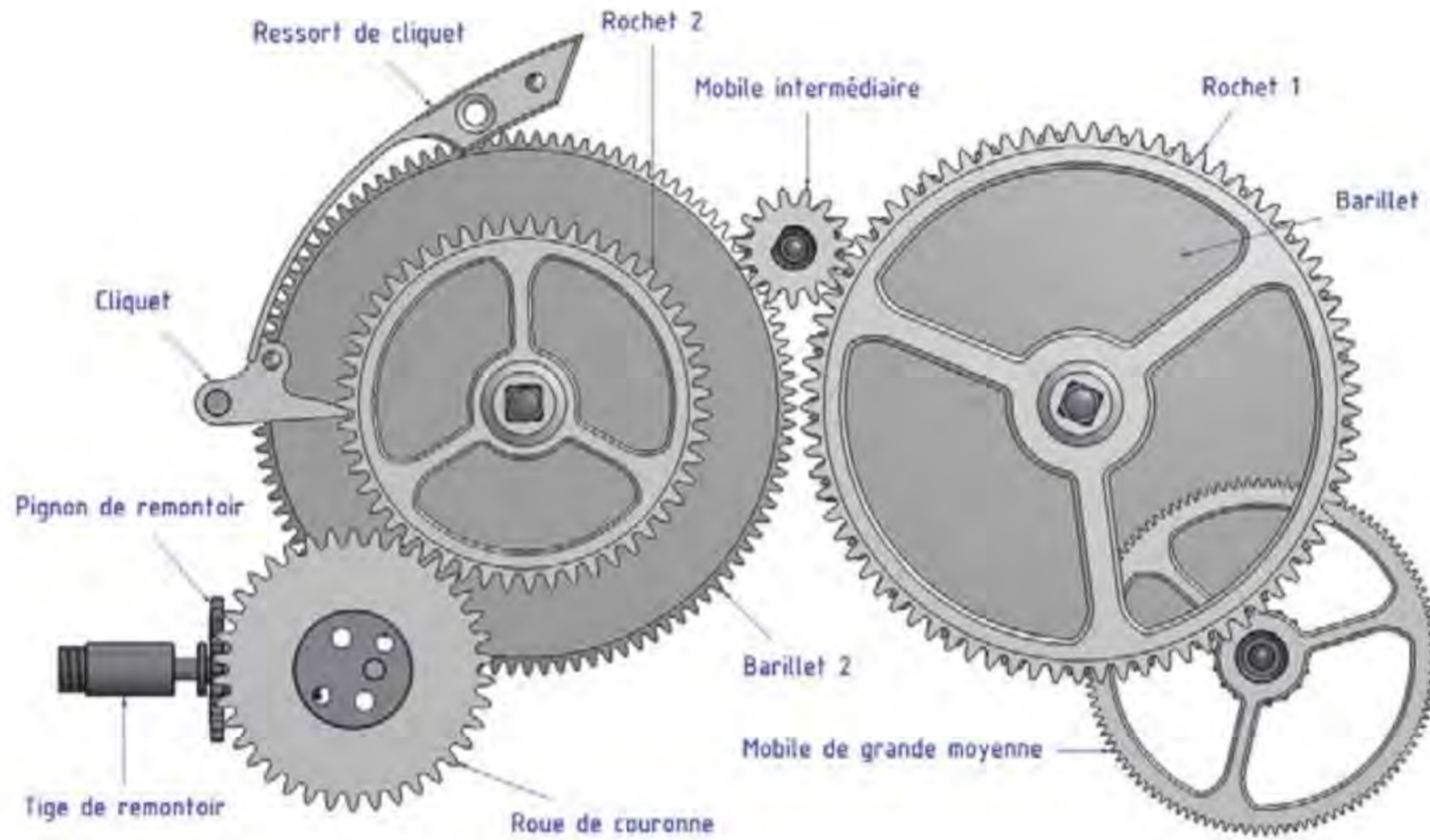


Fig. 2: Rouage barillets en série.

Lors du remontage, le rochet 2 est entraîné par la roue de couronne et remonte le barillet 2. Lorsque le couple est suffisant dans le barillet 2, ce dernier entre en rotation et entraîne le mobile intermédiaire. Ce mobile fait tourner le rochet 1 et ainsi permet de remonter les deux barillets jusqu'à leur blocage par leur bride fixe.

En fonctionnement, le barillet 1 se décharge dans le rouage de finissage. Après environ 20% de décharge, soit environ un jour de fonctionnement, son couple devient inférieur à celui du barillet 2. Ce dernier entretient alors le rouage au travers du barillet 1. Ce montage en série des deux barillets offre un couple plus stable sur une grande période de fonctionnement (Fig. 3).

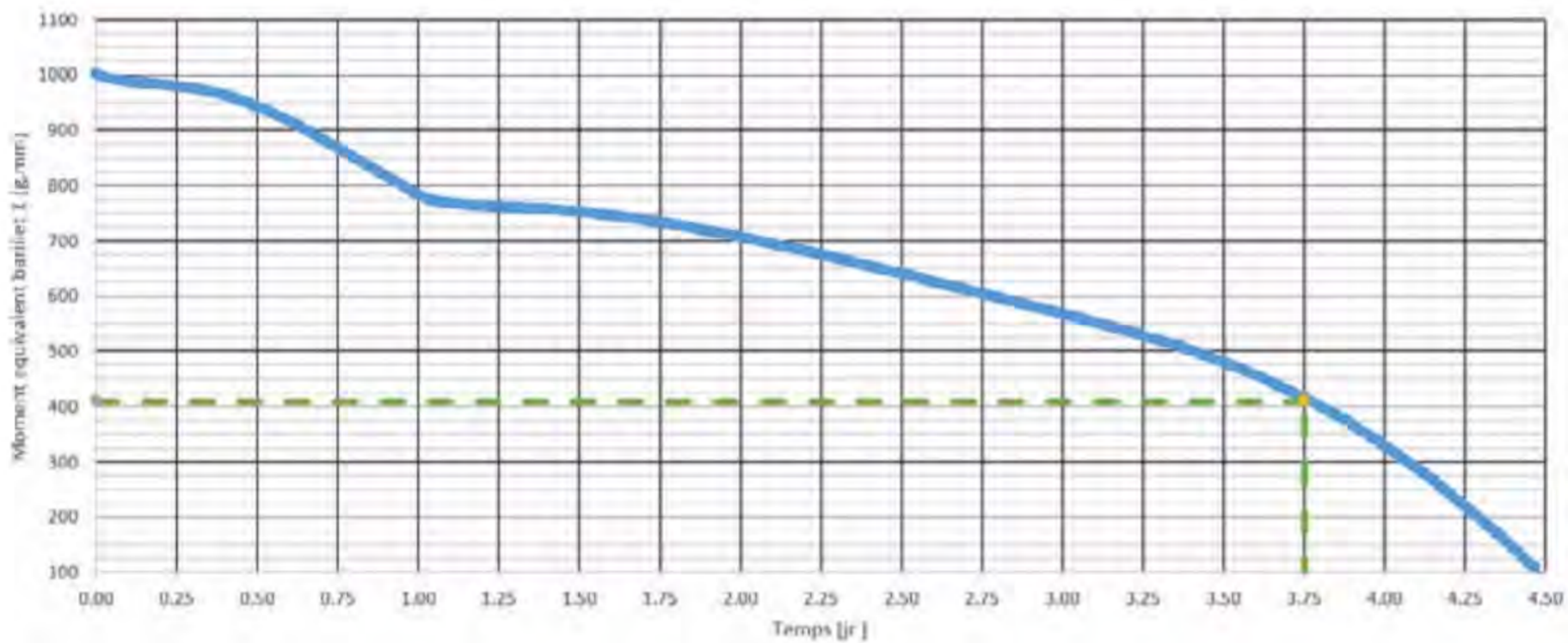


Fig. 3: Courbe de décharge du barillet 1.

La courbe de décharge ci-dessus révèle une pente plus douce une fois que les deux barillets sont en rotation. Lorsque les 90 heures de réserve de marche sont atteintes, le couple fourni au train d'engrenage est encore de 400 g.mm.

Malgré tous ces efforts, le couple qui alimente le train d'engrenage n'est pas constant. Dans un mouvement standard, la chute de l'amplitude est en lien avec la chute du couple fourni par le barillet; le tout péjore la marche (Fig. 4).

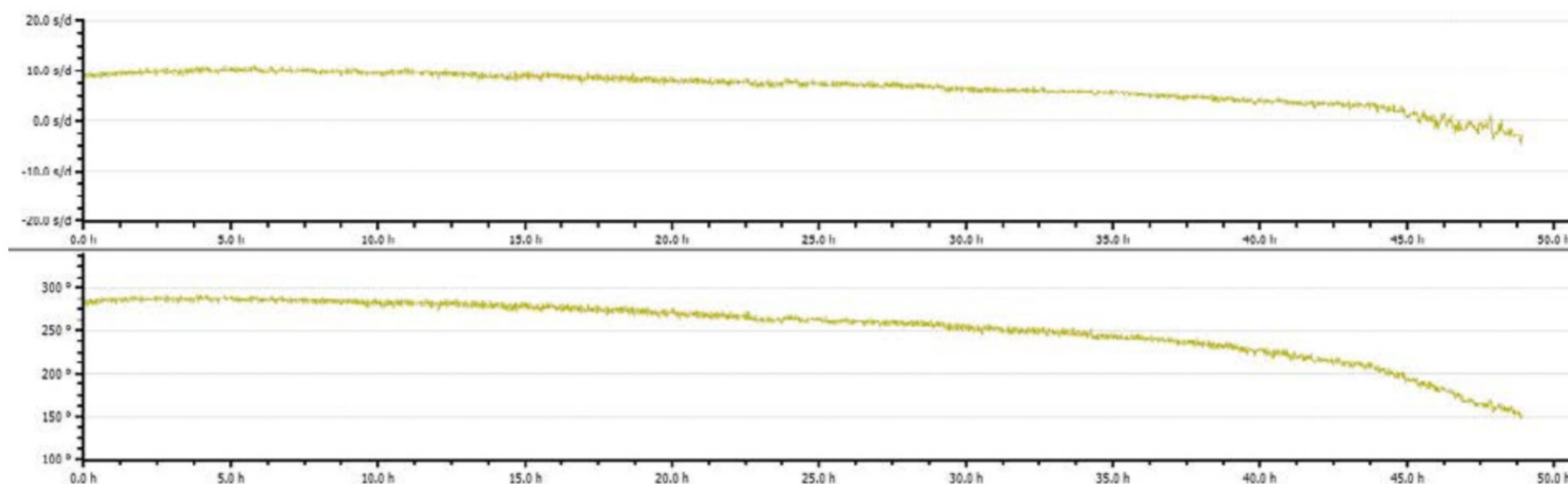


Fig. 4: Graphiques représentant la variation de la marche et de l'amplitude en fonction du temps de fonctionnement sur un mouvement standard.

Dispositif de force constante

L'élément majeur de ce mouvement est le dispositif de force constante (Fig. 5). Il permet d'éliminer les variations de couple moteur sur l'organe régulateur. Pour cela, le système est intégré entre le rouage de finissage qui transmet un couple variable et l'échappement qui transmet l'énergie qui sert à l'entretien de l'oscillateur. Ce système permet d'armer régulièrement un ressort spiral. Ce dernier va délivrer un couple constant au tourbillon sur toute la plage de fonctionnement des barillets. Contrairement aux mouvements traditionnels, l'organe régulateur n'est plus alimenté par le couple variable du barillet, mais par ce dispositif qui délivre un couple constant à l'échappement et donc à l'oscillateur.



Fig. 5: Dispositif de force constante.

Un agencement particulier de ce système permet d'intégrer l'affichage de la seconde morte dans ce produit.

Le dispositif de force constante se décompose en quatre parties :

- Module satellite
- Pignon d'entrée
- Module de sortie
- Ressort spiral

Module satellite / Pignon d'entrée

Le module satellite (Fig. 6) est composé d'un axe (12) où se chassent un porte satellite (14). Sur ce dernier, sont positionnés un satellite (16) et un pont (22). On intègre aussi le piton (32a) où l'on viendra fixer une extrémité du ressort spiral (28). Le satellite est libre en rotation entre les pierres du pont (22) et du porte satellite (14). Après le montage du module de sortie (non représenté), le module satellite recevra l'énergie du rouage par l'intermédiaire du pignon d'entrée (10) qui est chassé sur l'axe (12).

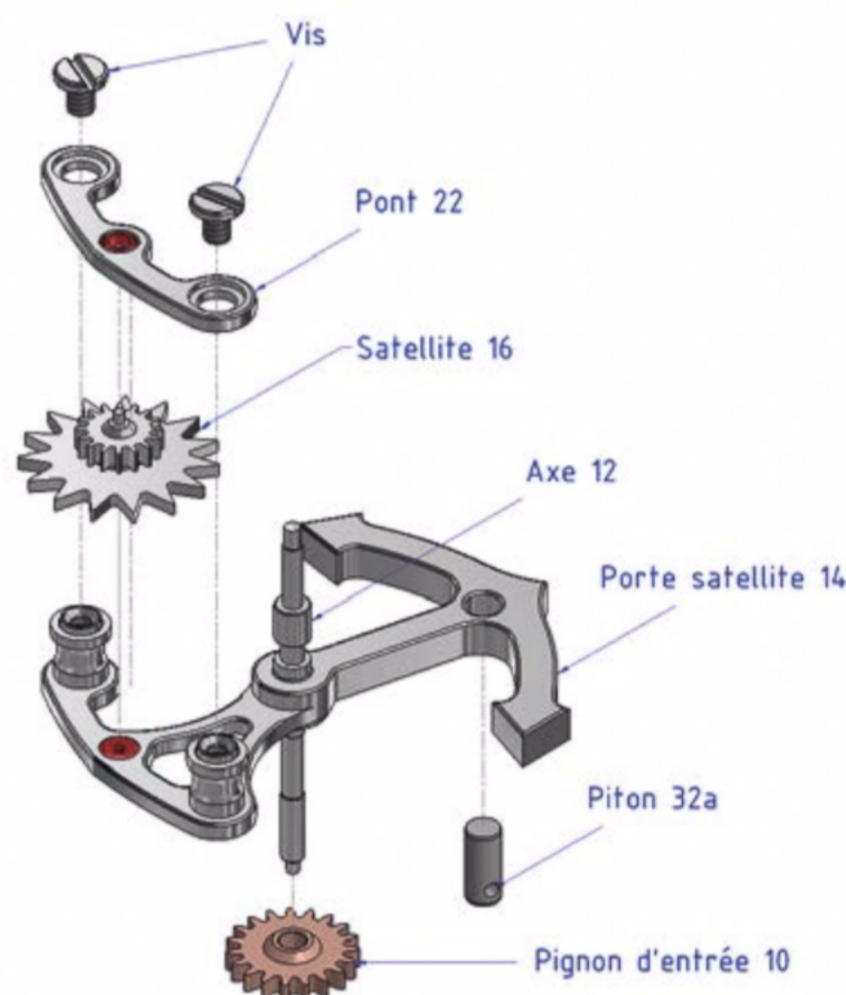


Fig. 6: Module satellite / Pignon d'entrée.

Le module de sortie

Le module de sortie (Fig. 7) est composé d'un canon (35) sur lequel est chassé un pont de cheville (31) côté sus. Une cheville (30) est chassée sur ce pont. Côté sous, une bague de réglage (34) est associée à un pont de piton (33) par rivetage. Une roue de sortie (26) est également fixée sur le canon (35). La friction entre le pont de piton (33) et la bague de réglage (34) permet aisément de régler le pré-armage du spiral qui définit la valeur du couple constant d'entraînement de l'oscillateur au travers de l'échappement.

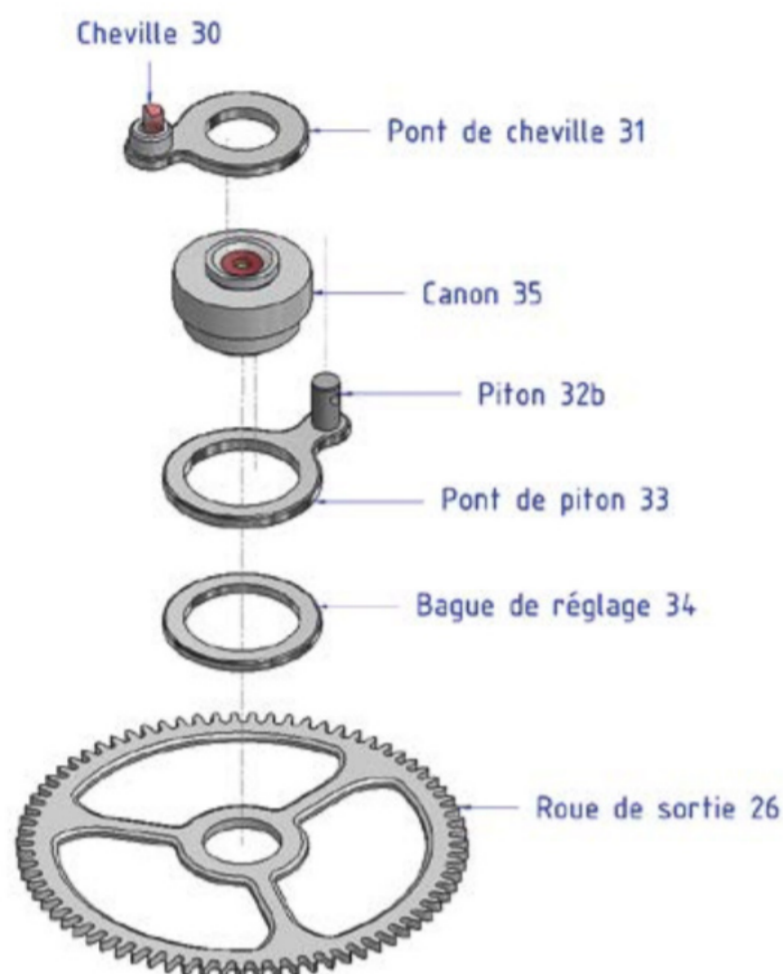


Fig. 7: Module de sortie.

Le ressort spiral

Le ressort spiral (28) fait le lien entre le module satellite et le module de sortie. La courbe terminale intérieure vient se fixer dans le piton du module de sortie et la courbe terminale extérieure vient se fixer dans le piton du module satellite (Fig. 8). La raideur k du ressort spiral (28) a été déterminée afin que ce dernier fournisse un couple idéal au tourbillon.

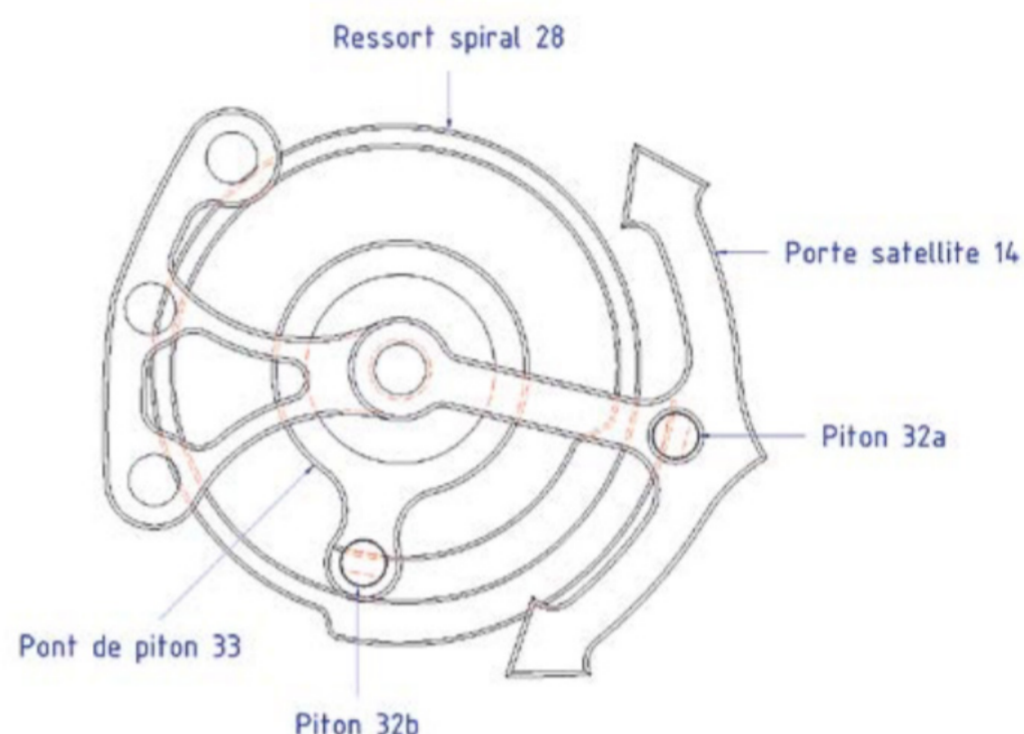


Fig. 8: Fixation du ressort spiral de force constante.

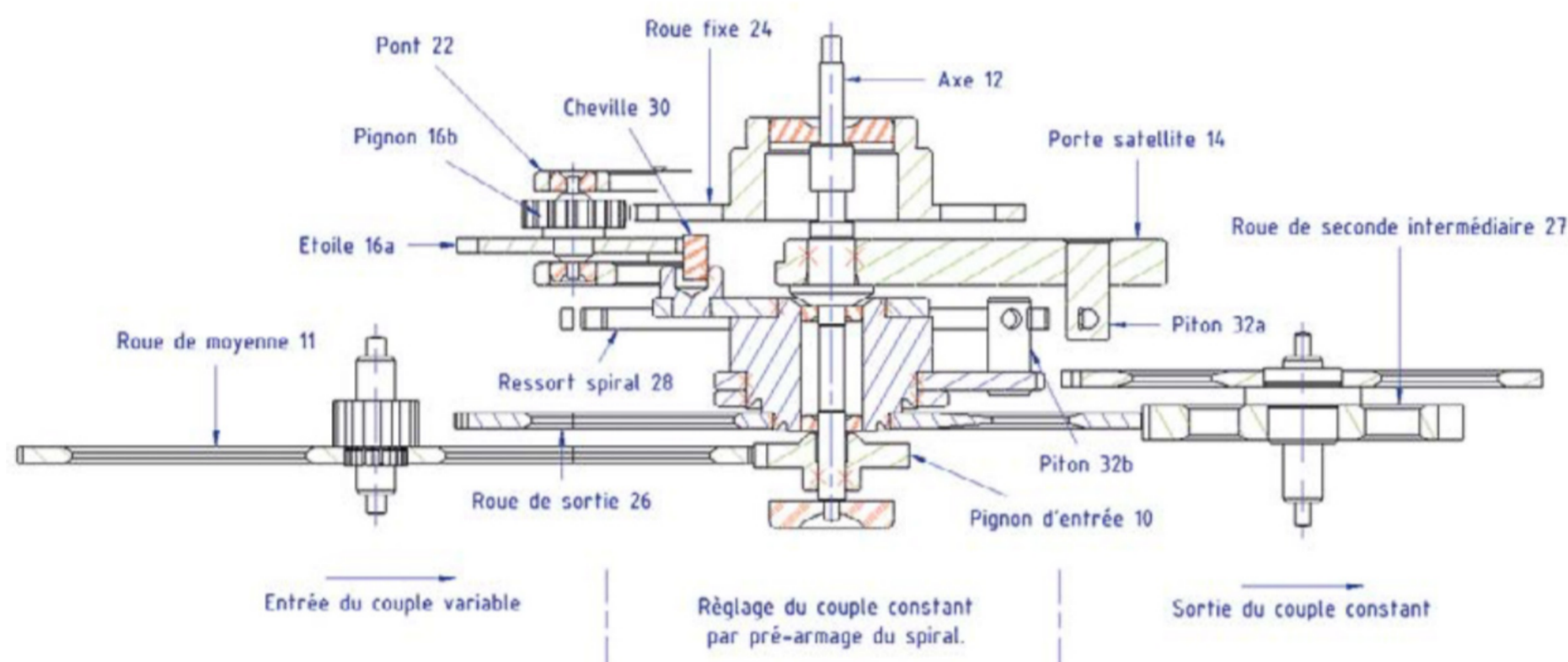


Fig. 9: Coupe du dispositif de force constante.

Assemblage et fonctionnement

Le dispositif de force constante est positionné par l'axe (12) dans le mouvement (Fig. 9-10). Les pierres de la roue fixe (24) et du pont de force constante (non représenté) assurent le guidage de l'axe (12).

A l'intérieur du dispositif de force constante, le module de sortie (hachures en bleu) est monté en rotation autour de l'axe (12). Le

pignon d'entrée (10) est chassé sur l'axe (12) après le montage du spiral et du module de sortie; il en assure l'ébat de hauteur. Le ressort spiral (28) est fixé dans le piton (32a) du module de satellite et le piton (32b) du module de sortie.

Le pignon (16b) est en prise avec une roue fixe (24), concentrique à l'axe (12). Cette roue (24) est montée sur un pont non repré-

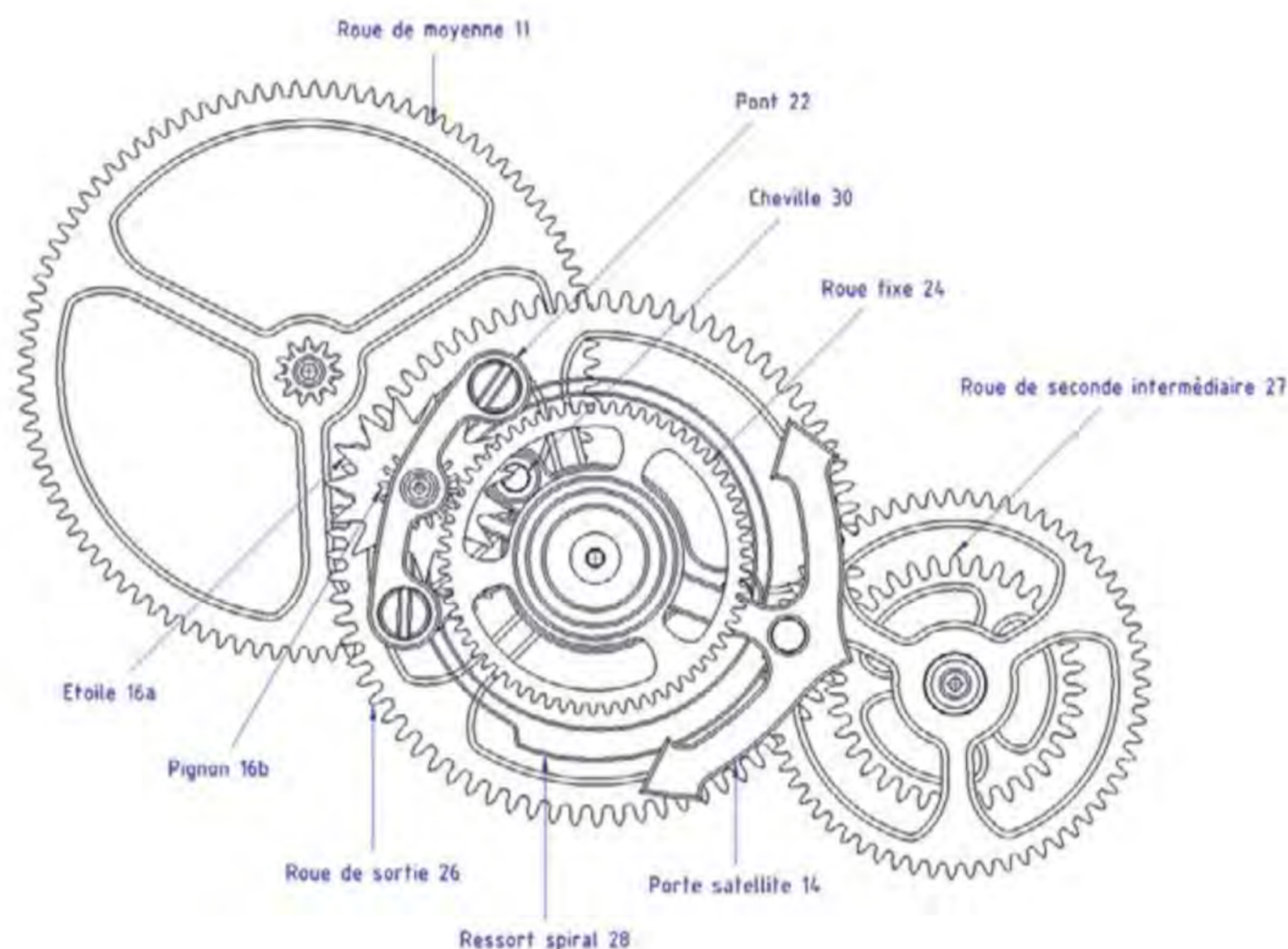


Fig. 10: Rouage du dispositif de force constante.

senté. En son centre est chassée une pierre qui participe à la précision du guidage de l'axe (12).

Le pignon d'entrée (10) reçoit le couple variable du barillet par l'intermédiaire du rouage de finissage. Le pignon d'entrée (10) transmet ce couple via l'axe (12) au porte satellite (14) qui est entraîné en rotation. Or, cette rotation est empêchée par l'arrêt de l'étoile (16a) sur la cheville (30), qui bloque le satellite (16) et notamment la rotation du pignon (16b) sur la roue fixe (24) (Fig. 11). Le flanc droit de la cheville qui vient en contact avec l'étoile (16a), est orienté de manière tangentielle par rapport à un cercle concentrique à l'axe (12). Lorsqu'une dent de l'étoile (16a) tombe sur le centre du flanc droit, l'inertie du choc n'engendre alors aucun couple sur l'axe (12), ni sur la roue de sortie (26).

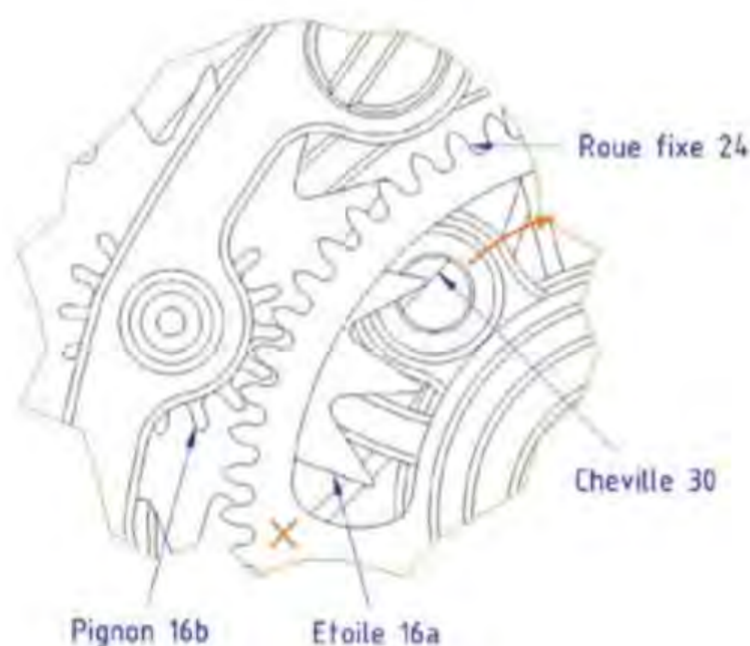


Fig. 11: Position de blocage de l'étoile sur la cheville.

Le module de sortie étant en lien avec l'oscillateur, il tourne de façon continue. La cheville (30), solidaire du module de sortie, reproduit cette rotation. La pointe de la dent de l'étoile (16a) va glisser sur le flanc droit de la cheville (30), jusqu'à sa chute (Fig. 12).

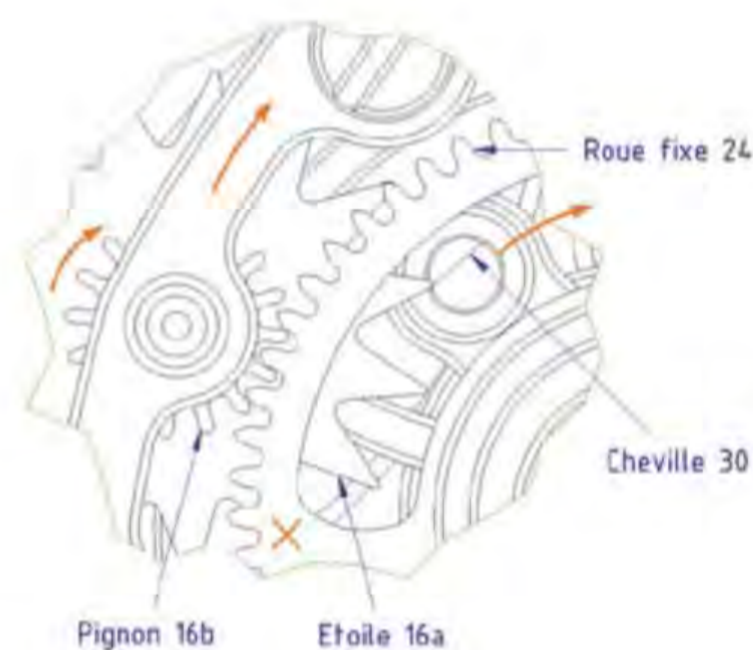


Fig. 12: Position limite avant la chute de l'étoile.

Le satellite (16) étant libre et le pignon d'entrée (10) étant soumis au couple du train d'engrenage, le module satellite va être entraîné en rotation autour de son axe. Ce déplacement va engendrer la rotation du satellite (16) sur son axe par l'intermédiaire de son pignon (16b) qui engrène avec la roue fixe (24) (Fig. 13).

Cette double rotation du satellite et du module satellite permet à la prochaine dent de l'étoile (16a) de venir en contact au centre du flanc de la cheville (30) et ainsi d'arrêter la rotation du système (Fig. 14).

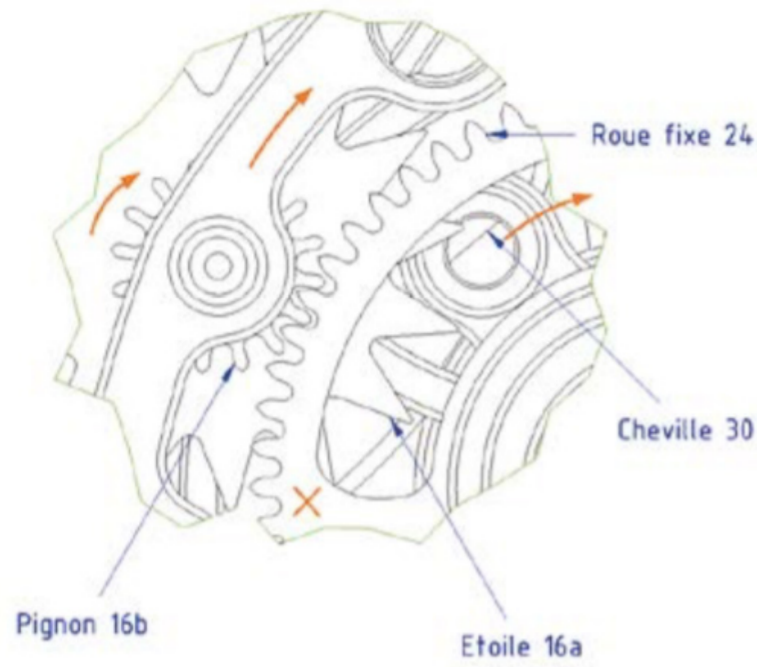


Fig. 13: Position pendant la chute de l'étoile.

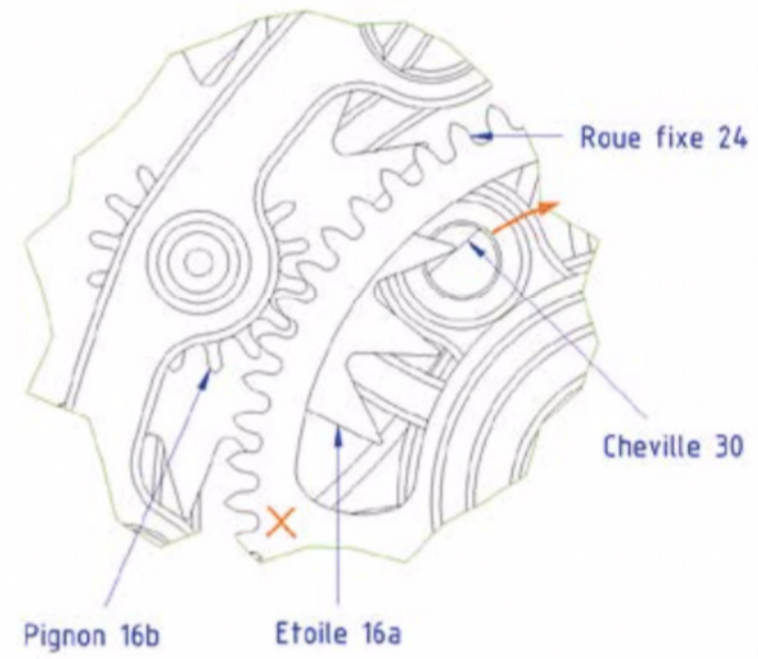


Fig. 14: Position de la fin de la chute.

Ce mouvement permet de ré-armer le ressort spiral (28), ce dernier s'étant désarmé pour l'entretien de la cage tourbillon pendant une seconde. Ainsi, la roue de sortie (26) est essentiellement soumise au couple transmis par le ressort spiral (28), indépendamment des fluctuations du couple transmis en amont par la roue de moyenne (11). Cette énergie fournie permet d'entraîner en rotation la roue de seconde supplémentaire (27) et par là, la cage tourbillon.

Le pont de piton est façonné en forme d'ancre (Fig. 10), rappel du logo de Arnold & Son. Cette ancre permet d'équilibrer le système de force constante, qui de ce fait est moins sensible aux perturbations.

La seconde morte, exigée par la marque Arnold & Son nécessite des rapports d'engrènement particuliers. La coopération entre l'étoile (16a) et la cheville (30) est déterminée afin que le porte satellite (16) saute d'un pas par seconde.

Pour commencer, le module de sortie est mis en rotation à une vitesse de un tour par minute, soit 6° par seconde. Ainsi, la position et le diamètre de la cheville (30) ont été déterminés afin que l'angle entre le point de blocage de l'étoile sur la cheville (Fig. 11) et le point de chute de l'étoile (Fig. 12) soit de 6° .

Comme la cheville (30) avance à une vitesse de 6° par seconde, l'étoile (16a) chute toutes les secondes provoquant une rotation sur son axe.

Les défauts du système n'influent pas sur l'indication de la seconde. En effet, le module satellite étant toujours soumis au couple du train de rouage, le jeu est rattrapé. Les défauts d'entraxe et de coaxialité ne représentent que 0.02° .

Un défaut reste néanmoins présent au niveau du temps entre chaque saut de seconde. Le temps parfait pour réaliser ce saut

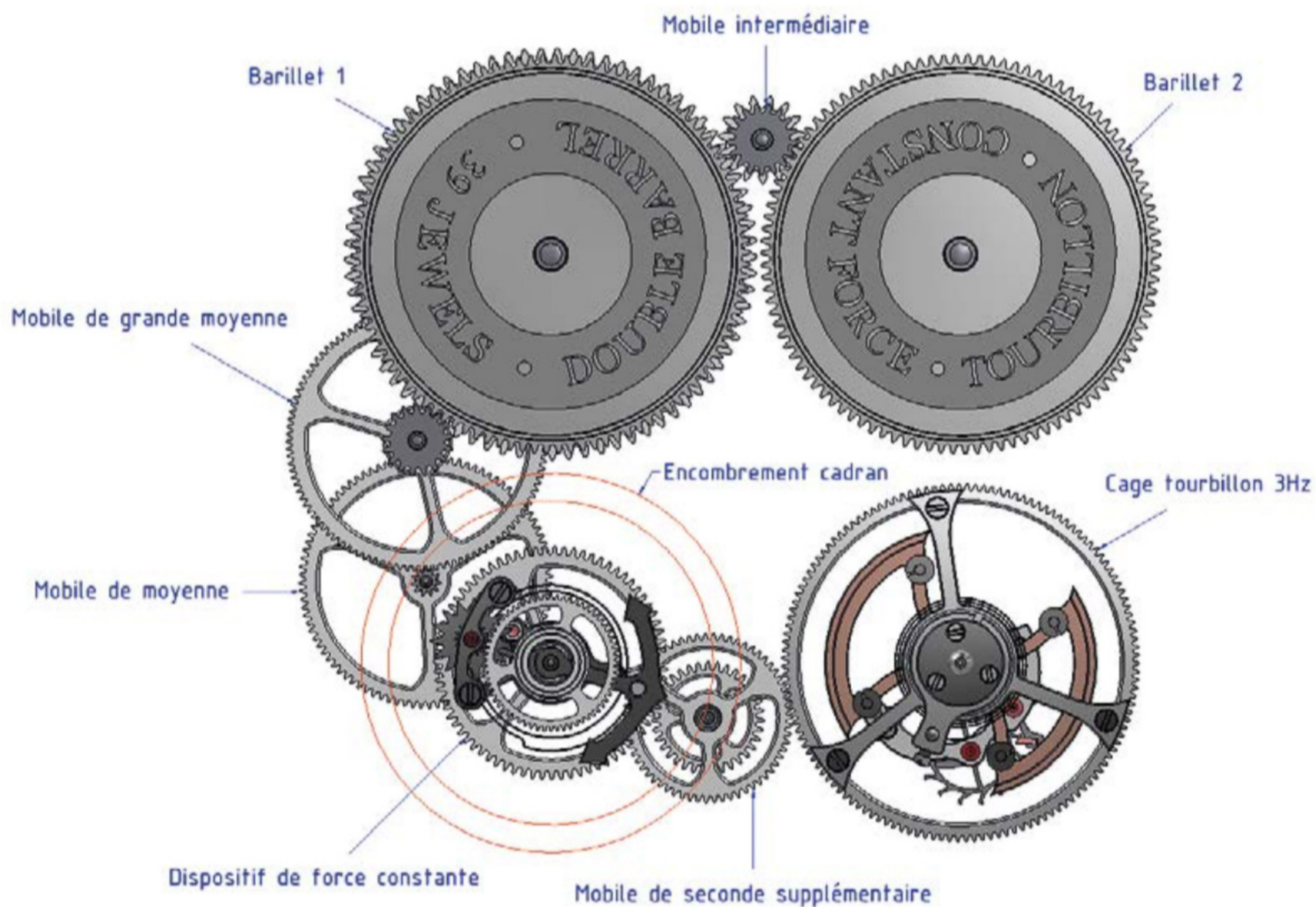


Fig. 15: Rouage de finissage complet du mouvement 5119.

doit être d'une seconde, mais dans la réalité, ce saut peut se faire une fraction de seconde avant ou après. La roue d'échappement (qui possède 15 dents) fait un tour en 30 alternances. Le rapport de 12 entre la roue d'échappement et la cheville (30), implique un déplacement discret de cette dernière de 1° par alternance.

Une fois en position limite avant la chute de l'étoile (Fig. 12) et suivant les défauts de positionnement de la cheville et de l'étoile, l'étoile peut chuter 1° en avance ou 1° en retard dans les cas les plus défavorables. Comme 6° représentent 1 seconde, le défaut du temps que met l'étoile à chuter est au maximum de $\pm 1/6$ de seconde. Ces erreurs de temps de chute se moyennent sur un tour du système de force constante puisque la vitesse de rotation de la cheville (30) est garantie par la fréquence de l'oscillateur.

Tourbillon

A la suite du dispositif de force constante se trouve un tourbillon 3 Hz (Fig. 15) qui tourne à une vitesse d'un tour par minute. Il reçoit un couple constant par l'intermédiaire du mobile supplémentaire de seconde qui fait le lien avec le dispositif de force constante. L'intégration la plus simple et la plus efficace pour les performances de la montre aurait été de faire engrener le tourbillon directement avec le dispositif de force constante. Pour l'harmonie du design, un mobile de seconde supplémentaire a été intégré. Le tourbillon et le système de force constante devaient être symétriques aux deux barillets. Le diamètre des quatre élé-

ments devait être semblable. Afin d'être visible à l'intérieur du cadran, la roue de sortie du système de force constante (26) doit être beaucoup plus petite que la platine cage du tourbillon ; un mobile de seconde supplémentaire était donc nécessaire.

Esthétique

La montre Tourbillon Constant Force fait partie de la «Royal Collection» de la marque Arnold & Son qui évoque l'élégance et la sophistication du style anglais. Son calibre architectural 5119 (Fig. 16-17) est entièrement visible, que ce soit côté cadran ou côté fond de la montre, afin d'exposer pleinement ses particularités techniques. Le mouvement a été conçu sur mesure afin de s'adapter parfaitement aux contraintes esthétiques de symétrie imposées par la marque Arnold & Son ainsi qu'aux contraintes techniques telles que le système d'affichage de la seconde morte ou l'obtention d'une très grande réserve de marche. Les barillets, le dispositif de force constante et le tourbillon possèdent chacun leur propre pont. La forme triangulaire des ponts rappelle le style des anciens chronomètres marins anglais (Fig. 18). Cette identité anglaise est modernisée par le biais de l'ajourage des ponts et de la platine et aussi par la décoration poussée des composants. Remarquons également la conception renversée du produit qui met en évidence côté cadran toute l'architecture tri-dimensionnelle de cette superbe réalisation horlogère en l'honneur du très grand horloger anglais que fut John Arnold.



Fig. 16: Vue sus calibre 5119.



Fig. 17: Vue sous calibre 5119.



Fig. 18: Ancien chronomètre marin.

On retrouve les caractéristiques esthétiques sur d'autres montres de la «Royal Collection» de la marque Arnold & Son, telles que la TB88, la Nebula et la Tourbillon Chronometer No. 36 (Fig. 19).

Performance

La mesure de la marche et de l'amplitude sur toute la durée de déroulement du barillet met en évidence un écart d'amplitude max de 20° sur les 90 heures de réserve de marche (Fig. 20).



Constant Force Tourbillon

Tourbillon Chronometer No.36

Nebula

TB88

Fig. 19: Modèles de la Royal Collection.

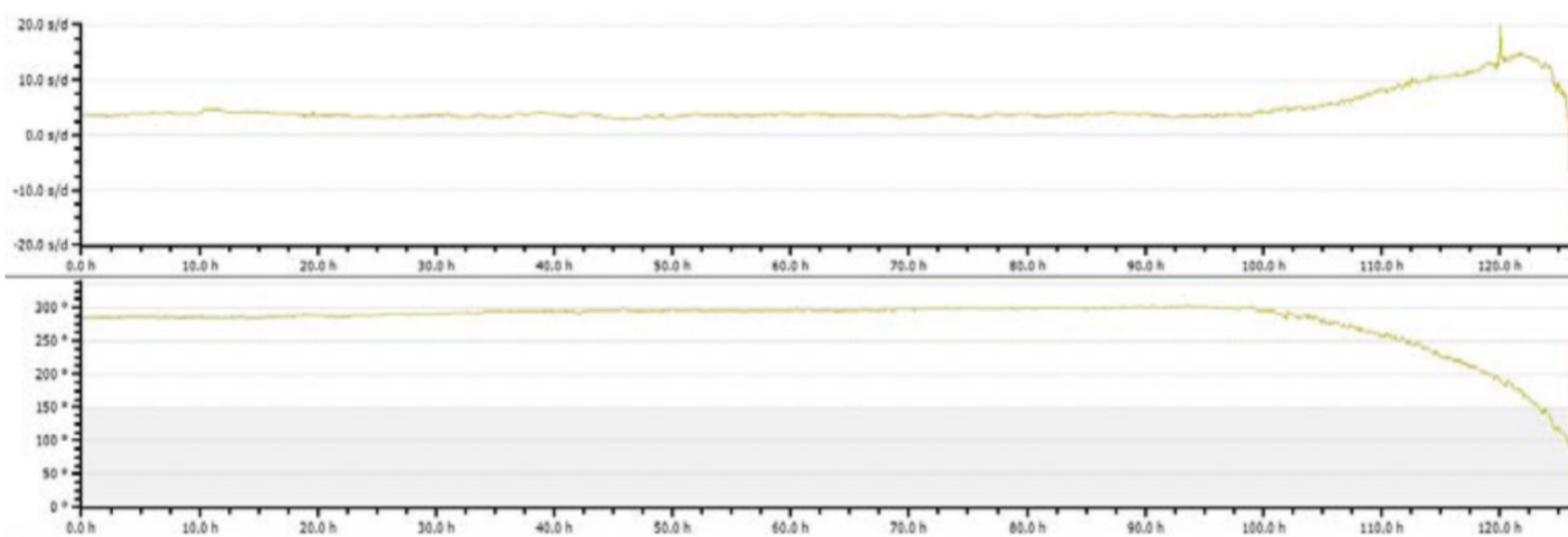


Fig. 20: Graphiques représentant la variation de la marche et de l'amplitude en fonction du temps de fonctionnement.



Fig. 21: Vue sur montre Constant Force Tourbillon.



Fig. 22: Vue sous montre Constant Force Tourbillon.

On constate que le delta de la marche sur environ 100 h ne dépasse pas 3 secondes par jour. L'amplitude souhaitée pour avoir le meilleur compromis entre la marche préconisée de +6/0 et une réserve de marche de minimum 90h est de 280°. Le pré-arrimage du ressort de force constante a été calculé de façon à fournir un couple qui permet d'obtenir cette amplitude.

Conclusion

Avec sa montre Constant Force Tourbillon (Fig. 21-22), Arnold & Son apporte de hautes performances sur 90 H de réserve de marche, par la mise en œuvre de deux barillets, du dispositif de force constante et du tourbillon.

Par le biais de son indication de seconde morte et d'un design moderne tout en gardant l'identité anglaise, la montre honore l'essence de la marque Arnold & Son. Avec un calibre exclusif développé et fabriqué entièrement par la manufacture La Joux-Perret SA, la technique a su répondre aux attentes des valeurs identitaires de la marque Arnold & Son.

Références

- [1] www.arnoldandson.com.
- [2] E. HOFMANN, S. CHAUMONTET, demande de brevet CH 709 068 A2, *Dispositif à force constante*, Manufacture La Joux-Perret SA, 2013.



www.thenakedwatchmaker.com